

Licenciatura en Máquinas Navales: Proyecto final de carrera

Análisis y redimensionado de un sistema de combustible a partir del remolcador “Willy-T” y el buque Ro-Pax “Murillo”



Autor: Juan Miguel Boned Marí

Facultad: Facultad Náutica de Barcelona UPC

Director: Manuel Rodríguez Castillo

Departamento: Ciencia e Ingeniería Náutica

Fecha: 03 de Febrero 2013

Índice

	<u>Página</u>
I. PRÓLOGO	
1.-Introducción	16
2.-Objetivos y motivaciones del proyecto	17
2.1.-El combustible. Tipos	18
2.1.1.-Combustibles sólidos	22
2.1.2.-Combustibles gaseosos	24
2.1.3.-Combustibles líquidos	27
2.2.-Petroleo	27
2.3.-Propiedades del Fuel-Oil	35
2.3.1.-Viscosidad	36
2.3.2.-Densidad	40
2.3.3.-Punto de inflamación	42
2.3.4.-Punto de solidificación	44
2.3.5.-Residuos carbonosos	47
2.3.6.-Punto de enturbiamiento o de nube	47
2.3.7.-Temperatura de autoignición	49
2.3.8.-Volatilidad	50
2.3.9.-Peso específico	51
2.3.10.-Cenizas	52
2.3.11.-Sedimentos	53
2.3.12.-Poder calorífico	53
2.3.13.-Índice de carbón aromático calculado (CCAI)	55
2.3.14.-Asfaltenos	57
2.3.15.-Índice de cetanos	57
2.4.-Impurezas del Fuel-Oil	58
2.4.1.-Agua	59
2.4.2.-Azufre	59

2.4.3.-Nitrógeno	60
2.4.4.-Vanadio y Sodio	61
2.4.5.-Partículas catalíticas	62
2.5.-Aditivos de combustibles	62
2.6.-Calidad del Fuel-Oil	67
II. ESTUDIO	
3.-Remolcador Willy T	73
3.1.-Datos	74
3.2.-Descripción general	77
3.3.-Sistema de combustible	81
4.-Murillo	89
4.1.-Datos	92
4.2.-Descripción general	95
4.3.-Sistema de combustible	96
4.3.1.-Circuito de trasiego de combustible	97
4.3.2.-Circuito de purificación de combustible	101
4.3.3.-Circuito de alimentación de motores principales	104
4.3.4.-Circuito de alimentación de la caldera	109
4.3.5.-Circuito de alimentación del generador de emergencia	111
4.3.6.-Circuito de alimentación de motores auxiliares	113
4.3.7.-Circuito de alimentación del incinerador	116
III. ELEMENTOS	
5.-Componentes de los circuitos de combustible	119

5.1.-Válvulas	120
5.1.1.1.-Válvulas de compuerta	121
5.1.1.2.-Válvulas de macho	122
5.1.1.3.-Válvulas de mariposa	124
5.1.2.-Válvulas de estrangulación	125
5.1.2.1.-Válvulas de globo	126
5.1.2.2.-Válvulas en Y	128
5.1.2.3.-Válvulas de ángulo	129
5.1.2.4.-Válvulas de tres vías	130
5.1.3.-Válvulas con funciones especiales	133
5.1.3.1.-Válvulas de drenaje	133
5.1.3.2.-Válvulas de purga	134
5.1.3.3.-Válvulas de retención	134
5.1.3.4.-Válvulas de seguridad	137
5.1.4.-Accionamiento de las válvulas	140
5.2.-Bombas	141
5.2.1.-Bombas de desplazamiento positivo	143
5.2.1.1.-Bombas alternativas	144
5.2.1.2.-Bombas rotativas	145
5.2.1.2.1.-Bombas rotativas de pistones	146
5.2.1.2.2.-Bombas rotativas de engranajes	147
5.2.1.2.3.-Bombas rotativas de husillo	148
5.2.1.2.4.-Bombas rotativas de husillo	150
5.2.2.-Bombas fluodinámicas	153
5.3.-Depuradoras de combustible	157
5.3.1.-Alfalaval MAB 104 B 14/42	161
5.3.2.-Depuradoras Alfalaval MMPX-403 y FOPX 614 TFD – 26	163
5.3.3.-Purificación: Factores y métodos	165
5.4.-Filtros	170
5.5.-Intercambiadores de calor	173
5.5.1.-Enfriadores de combustible	174
5.5.2.-Calentadores de combustible	175

5.6.-Viscosímetro	176
-------------------	-----

IV. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

6.-Prevención de la contaminación	179
-----------------------------------	-----

6.1.-Plan de emergencia a bordo por contaminación de hidrocarburos	179
--	-----

6.1.1.-Directrices para la elaboración SOPEP	181
--	-----

6.1.2.-Puntos de contacto	185
---------------------------	-----

6.1.3.-Formato de informe o llamada	187
-------------------------------------	-----

6.1.4.-Acciones y responsabilidades	189
-------------------------------------	-----

6.1.5.-Inventario	200
-------------------	-----

6.2.-Tanque de lodos	202
----------------------	-----

6.2.1.-Dimensiones conexión a tierra de descarga	205
--	-----

6.2.2.-Calculo dimensión del tanque de lodos	206
--	-----

V. MANTENIMIENTO

7.-Introducción al mantenimiento	212
----------------------------------	-----

7.1.-Válvulas	214
---------------	-----

7.2.-Bombas	219
-------------	-----

7.3.-Depuradoras	232
------------------	-----

7.4.-Filtros	244
--------------	-----

7.5.-Intercambiadores de calor	247
--------------------------------	-----

VI. DIMENSIONAMIENTO

8.-Introducción	250
-----------------	-----

8.1.-Misión del buque	250
-----------------------	-----

8.2.-Dimensionado de los tanques	253
----------------------------------	-----

8.2.1.-Tanques de servicio diario	256
-----------------------------------	-----

8.2.2.-Tanques de sedimentación	258
---------------------------------	-----

8.2.3.-Tanques de almacén	259
8.2.4.-Tanques de diesel-oil	260
8.2.5.-Tanque colector de retornos de fuel-oil y diesel-oil	261
8.2.6.-Tanque de lodos	262
8.3.-Dimensionado de bombas, calentadores y depuradoras	263
8.3.1.-Bombas de trasiego	263
8.3.2.-Bombas de alimentación	265
8.3.3.-Bombas de circulación	267
8.3.4.-Bombas de alimentación de calderas	269
8.3.5.-Bombas de las depuradoras	270
8.3.6.-Depuradoras de combustible	271
8.3.7.-Calentadores de combustible	273
8.3.8.-Bomba del tanque de lodos	274
8.4.-Tuberías del circuito	275
8.4.1.-Aislamiento térmico	275
8.4.2.-Materiales tubería	277
8.4.3.-Dimensionado de los tubos	280
8.5.- Pérdidas de carga	284
8.6.- Cálculo de las pérdidas de carga	292
8.6.1.-Circuito de trasiego de fuel-oil	293
8.6.2.-Circuito de trasiego de diesel-oil	295
8.6.3.-Circuito depuración fuel-oil	298
8.6.4.-Circuito depuración diesel-oil	300
8.6.5.-Circuito alimentación motores principales	303
8.6.6.-Circuito alimentación motores auxiliares	307
8.6.7.-Circuito alimentación caldera	310
8.6.8.-Circuito combustible lodos	313
9.-Conclusiones	316
10.-Bibliografía	319

Índice de imágenes

	Página
Imagen 1: <i>Tendencia del precio de barril de crudo.</i>	21
Imagen 2: <i>Distribución destilación primaria del petróleo.</i>	29
Imagen 3: <i>Diagrama de conversión de unidades de viscosidad.</i>	39
Imagen 4: <i>Medidor Conrad de residuos carbonosos.</i>	47
Imagen 5: <i>Gráfico para la obtención del CCAI.</i>	56
Imagen 6: <i>Remolcador Willy T.</i>	73
Imagen 7: <i>Perfil general remolcador Willy T.</i>	77
Imagen 8: <i>Cubierta principal, zona de tiro.</i>	78
Imagen 9: <i>Costado libre de babor de la cubierta principal.</i>	78
Imagen 10: <i>Willy-T durante una operación de desatraque.</i>	80
Imagen 11: <i>Tomas de combustible Willy-T.</i>	81
Imagen 12: <i>Depuradora diesel-oil Willy-T.</i>	83
Imagen 13: <i>Filtros dobles de diesel-oil.</i>	84
Imagen 14: <i>Buque Murillo.</i>	89
Imagen 15: <i>Características IFO 380.</i>	91
Imagen 16: <i>Toma combustible cubierta.</i>	98
Imagen 17: <i>Escotilla tanque de fuel.</i>	98
Imagen 18: <i>Interior tanque de fuel.</i>	99
Imagen 19: <i>Depuradora de combustible buque Murillo.</i>	103
Imagen 20: <i>Pasos de la alimentación de combustible.</i>	105
Imagen 21: <i>Calentador combustible.</i>	107

Imagen 22: <i>Caldera buque Murillo.</i>	109
Imagen 23: <i>Quemador caldera.</i>	110
Imagen 24: <i>Motor de emergencia.</i>	112
Imagen 25: <i>Motor auxiliar.</i>	115
Imagen 26: <i>Partes válvula de compuerta.</i>	121
Imagen 27: <i>Partes válvula de macho.</i>	123
Imagen 28: <i>Disposición válvula de mariposa.</i>	124
Imagen 29: <i>Partes válvula de globo.</i>	127
Imagen 30: <i>Partes válvula en Y.</i>	129
Imagen 31: <i>Partes válvulas en ángulo.</i>	129
Imagen 32: <i>Esquema funcionamiento válvulas de tres vías</i>	130
Imagen 33: <i>Esquema válvula tres vías de pistón.</i>	131
Imagen 34: <i>Esquema válvula tres vías de apertura y cierre.</i>	131
Imagen 35: <i>Esquema válvula tres vías de zapata rotativa.</i>	132
Imagen 36: <i>Esquema válvula tres vías de tipo obturador.</i>	132
Imagen 37: <i>Esquema válvula tres vías de obturador como desviadora.</i>	133
Imagen 38: <i>Partes válvula de retención tipo bisagra.</i>	135
Imagen 39: <i>Disposición válvula de retención de elevación.</i>	136
Imagen 40: <i>Partes válvula de seguridad.</i>	138
Imagen 41: <i>Esquema fuerzas aplicadas a una válvula de seguridad.</i>	139
Imagen 42: <i>Bomba alternativa manual.</i>	145
Imagen 43: <i>Esquema bomba rotativa de pistones.</i>	147
Imagen 44: <i>Esquema bomba rotativa de pistones radiales.</i>	147

Imagen 45: <i>Esquema bomba rotativa de paletas.</i>	147
Imagen 46: <i>Esquema bomba rotativa de engranajes.</i>	148
Imagen 47: <i>Esquema bomba rotativa de engranajes internos.</i>	149
Imagen 48: <i>Secuencia funcionamiento bomba rotativa de tres lóbulos.</i>	149
Imagen 49: <i>Secuencia funcionamiento bomba rotativa de dos lóbulos.</i>	149
Imagen 50: <i>Bomba de dos husillos.</i>	151
Imagen 51: <i>Forma espiral de la voluta de una bomba centrifuga.</i>	155
Imagen 52: <i>Esquema interno bomba centrifuga.</i>	156
Imagen 53: <i>Diferencia entre clarificación y separación.</i>	158
Imagen 54: <i>Depuradora remolcador Willy-T.</i>	162
Imagen 55: <i>Visor admisión de combustible.</i>	162
Imagen 56: <i>Indicador de la velocidad de giro.</i>	165
Imagen 57: <i>Esquema operación en serie de depuradoras.</i>	168
Imagen 58: <i>Esquema operación en paralelo de depuradoras.</i>	169
Imagen 59: <i>Esquema operación mixta de depuradoras</i>	169
Imagen 60: <i>Funcionamiento filtro.</i>	171
Imagen 61: <i>Filtro de combustible de doble cuerpo.</i>	173
Imagen 62: <i>Enfriador de combustible remolcador Willy-T.</i>	174
Imagen 63: <i>Instalación viscosímetro línea de combustible.</i>	176
Imagen 64: <i>Bidón SOPEP para remolcador Willy-T.</i>	201
Imagen 65: <i>Localización central del tanque de lodos.</i>	205
Imagen 66: <i>Localización empaquetadura.</i>	228
Imagen 67: <i>Sello mecánico de una bomba.</i>	230
Imagen 68: <i>Formulario posible de una Orden de Trabajo.</i>	233

Imagen 69: <i>Puntos para medición de vibraciones en depuradoras.</i>	234
Imagen 70: <i>Punto de llenado de aceite depuradora.</i>	238
Imagen 71: <i>Esquema y situación junta de estanqueidad.</i>	240
Imagen 72: <i>Puntos importantes de corrosión.</i>	240
Imagen 73: <i>Paquete de discos.</i>	241
Imagen 74: <i>Altura eje rotor respecto carcasa.</i>	243
Imagen 75: <i>Sección bomba centrífuga de trasiego.</i>	264
Imagen 76: <i>Bomba circulación serie BAS.</i>	268
Imagen 77: <i>Módulo FOCUS-12 de depuración de fuel-oil.</i>	272
Imagen 78: <i>Esquema aislamiento y calefacción tuberías fuel-oil.</i>	277
Imagen 79: <i>Gráfica relación caudal-diámetro interior.</i>	281
Imagen 80: <i>Condiciones generales volumen de control.</i>	285

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: <i>Fracciones importantes de la destilación atmosférica del petróleo.</i>	31
Tabla 2: <i>Análisis más frecuentes del Fuel-Oil.</i>	36
Tabla 3: <i>Equivalencia entre viscosidad cinemática en cSt y Redwood Nº 1.</i>	38
Tabla 4: <i>Expresión americana de densidad.</i>	41
Tabla 5: <i>Puntos de inflamación en diferentes combustibles.</i>	44
Tabla 6: <i>Relación combustibles y temperatura de autoignición.</i>	49
Tabla 7: <i>Valores máximos de combustibles marinos destilados.</i>	69
Tabla 8: <i>Valores máximos de combustibles residuales marinos.</i>	70
Tabla 9: <i>Características constructivas Willy-T.</i>	75
Tabla 10: <i>Características del sistema de propulsión Willy-T.</i>	76
Tabla 11: <i>Características de la generación de energía Willy-T.</i>	76
Tabla 12: <i>Capacidad de los tanques Willy-T.</i>	76
Tabla 13: <i>Tuberías circuito combustible Willy-T.</i>	85
Tabla 14: <i>Elementos circuito combustible Willy-T.</i>	88
Tabla 15: <i>Características constructivas buque Murillo.</i>	93
Tabla 16: <i>Características del sistema de propulsión buque Murillo.</i>	93
Tabla 17: <i>Características de la generación de energía buque Murillo.</i>	94
Tabla 18: <i>Capacidad de los tanques del buque Murillo.</i>	94
Tabla 19: <i>Elementos circuito de trasiego de combustible.</i>	101
Tabla 20: <i>Elementos circuito de purificación de combustible.</i>	104
Tabla 21: <i>Elementos circuito de alimentación motores principales.</i>	109
Tabla 22: <i>Elementos circuito de alimentación de la caldera.</i>	111

Tabla 23: <i>Elementos circuito de alimentación del motor de emergencia.</i>	113
Tabla 24: <i>Elementos circuito de alimentación motores auxiliares.</i>	116
Tabla 25: <i>Elementos circuito alimentación de combustible del incinerador.</i>	117
Tabla 26: <i>Características bombas trasiego de diesel-oil.</i>	152
Tabla 27: <i>Características bombas trasiego de fuel-oil.</i>	152
Tabla 28: <i>Características bombas módulo alimentación de combustible.</i>	152
Tabla 29: <i>Características bombas módulo circulación de fuel-oil.</i>	153
Tabla 30: <i>Características unidades de precalentamiento motores buque Murillo.</i>	157
Tabla 31: <i>Características depuradora remolcador Willy T.</i>	161
Tabla 32: <i>Características depuradora de fuel-oil buque Murillo.</i>	163
Tabla 33: <i>Características depuradora diesel-oil buque Murillo.</i>	165
Tabla 34: <i>Características enfriador combustible.</i>	174
Tabla 35: <i>Acciones a tomar por fuga de combustible en tubería.</i>	190
Tabla 36: <i>Acciones a tomar por rebose de combustible desde el tanque.</i>	192
Tabla 37: <i>Acciones a tomar por fuga de combustible en el casco.</i>	193
Tabla 38: <i>Acciones a tomar por varada.</i>	195
Tabla 39: <i>Acciones a tomar por fuego o explosión.</i>	196
Tabla 40: <i>Acciones a tomar por colisión.</i>	197
Tabla 41: <i>Acciones a tomar por fallo estructural del casco.</i>	197
Tabla 42: <i>Acciones a tomar por escora excesiva.</i>	198
Tabla 43: <i>Acciones a tomar por hundimiento.</i>	200
Tabla 44: <i>Dimensiones conexión a tierra descarga lodos.</i>	206
Tabla 45: <i>Características fuel ISO 8217:2010.</i>	251
Tabla 46: <i>Características diesel ISO 8217:2010.</i>	252

Tabla 47: <i>Características bomba centrífuga ALLMAG CMA.</i>	265
Tabla 48: <i>Características bomba alimentación ALLFUEL AFI.</i>	267
Tabla 49: <i>Características bomba serie BAS.</i>	268
Tabla 50: <i>Características caldera auxiliar.</i>	270
Tabla 51: <i>Características del módulo MMPX 403.</i>	273
Tabla 52: <i>Materiales y servicios en tuberías.</i>	278
Tabla 53: <i>Compatibilidades material tubería y accesorios.</i>	279
Tabla 54: <i>Diámetros y espesores tuberías.</i>	282
Tabla 55: <i>Tramos aspiración circuitos combustible.</i>	283
Tabla 56: <i>Tramos descarga circuito combustible.</i>	284
Tabla 57: <i>Parámetro de rugosidad en función del material.</i>	289
Tabla 58: <i>Coeficiente k de los accesorios.</i>	292

I.-PRÓLOGO

1.-Introducción

Los combustibles a lo largo de su historia han estado presentes en todas las etapas evolutivas, tanto en la industria como en la sociedad. A día de hoy la posibilidad de disfrutar de una calidad de vida aceptable es posible en parte al descubrimiento de nuevos combustibles y a la mejora de estos mismos para permitir un uso controlado y seguro. El combustible como fuente de energía ha ido adquiriendo mucha importancia, siendo fundamental para gran parte de los sectores como el transporte, comercio, industria, etc.

Con el paso del tiempo, se han llevado a cabo nuevos descubrimientos de explotación y de uso de estos combustibles tanto sólidos, líquidos como gaseosos. Durante este recorrido se ha intentado, en el sector naval, encontrar y utilizar la mejor fuente de energía para llevar a cabo la propulsión. No hay solo un combustible determinado para todas las embarcaciones, sino que cada buque tiene sus características y sus sistemas acorde con el combustible utilizado. No solo el combustible ha ido evolucionando con el paso del tiempo, también los sistemas y los elementos que interaccionan con el combustible se han ido desarrollando para estar a la altura y poder ofrecer un funcionamiento óptimo.

El objeto de estudio de este proyecto estará enfocado en los sistemas de combustible de dos embarcaciones totalmente diferentes en tamaño y elementos que contienen, que a partir de los cuales, se llevará a cabo un análisis de todos los circuitos, con una visión de sus elementos, aspectos de mantenimiento y seguridad para finalizar con un rediseño y obtención de un nuevo sistema de combustible para buque mercante.

2.-Objetivos y motivaciones del proyecto

El siguiente proyecto, abordará e intentará profundizar en aspectos del sistema de combustible de dos embarcaciones. En el inicio, se mostrará una visión más genérica de lo que es un combustible, para que a través de una base de información enriquecedora se pueda ir entrelazando de forma más estrecha con el remolcador Willy-T y el buque Ro-Pax Murillo.

Se profundizará sobre los diferentes esquemas y elementos que interfieren en el manejo y distribución del combustible Fuel-Oil y Diesel-Oil en ambos buques mercantes, intentando ver la diferencia de utilización, al mismo tiempo que se irá desglosando parte por parte cada circuito para ver qué elementos utiliza y la cantidad de la que precisa para llevar a cabo su función. Al mismo tiempo se tratarán aspectos fundamentales en nuestra sociedad como son los aspectos de la contaminación por hidrocarburos y el mantenimiento de estos sistemas para que su funcionamiento sea continuo y de una alta eficiencia.

Una vez claro todo lo anterior, se realizará el dimensionamiento de un nuevo sistema de combustible integrando aspectos de ambos buques analizados y mejorando en lo posible toda su instalación.

Para adquirir una base, para un mejor entendimiento del objeto de estudio y así poder entender de mejor forma el comportamiento de cada elemento y parte de los diferentes sistemas, empezaré haciendo referencia a los combustibles, viendo los tipos y sus características esenciales a tener en cuenta.

2.1.-El combustible. Tipos

Un combustible es cualquier material que cuando cambia o transforma su estructura química debió a una oxidación violenta con desprendimiento de calor, es capaz de liberar ciertas cantidades de energía. Estas cantidades dependerán del tipo de combustible y de su naturaleza. Esta liberación de la energía debido a su quema o combustión se realiza a una forma utilizable por el ser humano de forma directa o mediante algún mecanismo. Uno de los problemas de ciertos combustibles, es que después de la combustión y liberación de la energía, dejan ciertos residuos en el ambiente.

En definitiva un combustible es una sustancia susceptible a quemarse y a su vez a quemarse con cierta facilidad, aunque no siempre se produzca de esta manera.

En el sector marítimo se han utilizado diferentes formas de combustibles a lo largo de su historia y se siguen utilizando hoy en día. Durante el siglo XIX se llevaron a cabo avances importantes sobre todo debido al desarrollo de la actividad industrial y por consiguiente de la tecnología. Este avance industrial no se podría haber producido sin la utilización de la máquina de vapor. La andadura del carbón como combustible en el mundo naval para la generación de vapor se inicia en 1807, cuando Robert Fulton construyó "El Clermont". Fue el primer barco de vapor que navegó por el río Hudson. Posteriormente, en 1819 el barco estadounidense "SS Savannah" fue el primero en realizar una travesía transatlántica. El avance era tal, que en 1840, un buque de vapor podía hacer seis viajes entre América y Europa, mientras que un velero solo podía hacer tres. La inclusión del barco de vapor fue muy importante, ya que en 1870 el barco francés "Le Frigidaire", buque frigorífico en parte, revolucionó el sector de

los alimentos al demostrar que se podían transportar sin ningún problema en largas distancias.

El avance de otros tipos de combustible en el siglo XX fue el motivo de la necesidad de un cambio. La combustión del carbón era un problema, además de su transporte en el buque. A principios de 1900 el motor diesel empezaba a ganar terreno y a presentar un funcionamiento esperanzador para los constructores. Un aspecto importante y que marca una pauta e inicio de nuevos buques no propulsados por vapor se produce en 1934, justo antes de la Segunda Guerra Mundial, cuando los acorazados Deutschland, Admiral Graf Spee y Admiral Scheer, salen de astillero con 8 motores diesel de dos tiempos con una potencia de 52.000 CV aproximadamente.

El carbón fue uno de los primeros combustibles de mayor importancia para el sector marítimo. Con los avances de principio de siglo XX sobre motores y sus combustibles, las diferentes compañías empezaron a ver las ventajas que tenían los combustibles líquidos sobre el carbón. Empezaba una nueva etapa donde los combustibles líquidos coparían gran parte del sector naval. Primero con la utilización de combustible diesel y gasolinas y finalmente con la utilización de combustible pesado como el Fuel-Oil.

Principalmente, la sustitución progresiva del carbón como fuente primaria para la generación de vapor, se produjo porque requería una cantidad considerable de mano de obra para que el buque mantuviera un régimen de funcionamiento óptimo y una velocidad estable. Además, en la sala de calderas, había que tener mucho cuidado con la cantidad que se introducía en los quemadores para mantener una presión adecuada. Pero no era el único aspecto a tener en cuenta, el buque debía llevar una gran cantidad de carbón almacenado para poder suministrar los quemadores

durante toda la travesía, además de tener que realizar tareas de mantenimiento complicadas. En definitiva, con el surgimiento de los motores alimentados por combustibles líquidos, el carbón empezaba a tener muchos aspectos en contra y pocos a su favor.

Por el otro lado, con el combustible líquido podíamos reducir el número de personas a cargo de la instalación, además de tener una mayor facilidad para el manejo de los instrumentos y de la propia instalación. Ya no había que estar pendiente a cada momento. Otro aspecto importante, es que ya no había que tener amplios espacios para el almacenamiento del combustible. Este hecho permitió incrementar el espacio de carga y así obtener un mayor beneficio de la explotación del buque, contando incluso con toda la instalación necesaria para preparar el combustible para que fuese consumido por el motor.

El camino de los combustibles líquidos se mostraba esperanzador y duradero, pero no siempre se pueden apreciar ciertos aspectos desestabilizadores. En 1973 se produce la llamada crisis del petróleo que comenzó a raíz de la decisión de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo, junto con miembros del golfo pérsico de la OPEP de no exportar más petróleo a los países que habían apoyado a Israel durante la guerra del Yom Kippur. Esto provocó que el precio fuese en aumento y debido a la gran dependencia de los países industrializados del petróleo, la actividad económica se redujo, entrando en un periodo de series medidas para reconducir la situación.

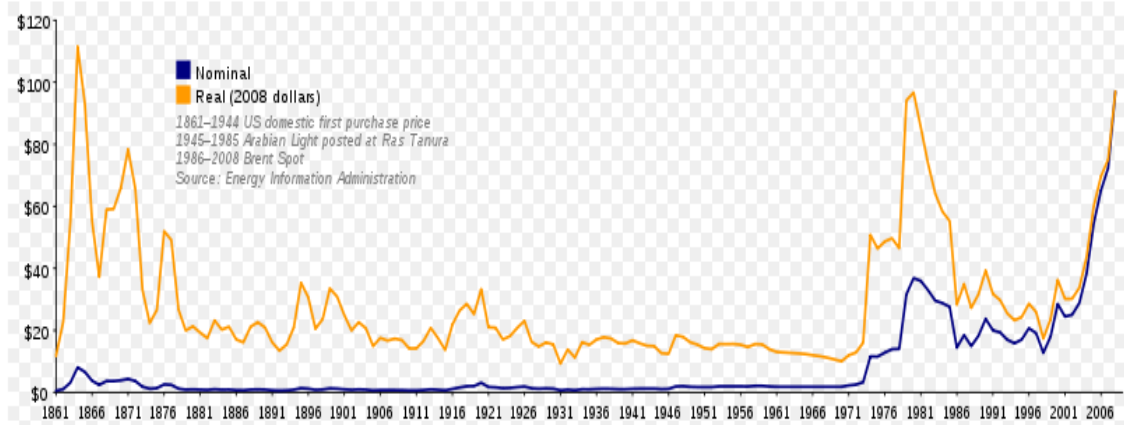


Imagen 1: Tendencia del precio de barril de crudo.

La Crisis del petróleo siguió agravándose en 1979 con la segunda crisis del petróleo. Tras la de 1973, la segunda se produjo bajo los efectos de la revolución iraní y de la guerra Irán-Irak.

Pero no todo es negativo. Debido a las dos crisis de los 80, se desarrollaron nuevas tecnologías y avances en otros campos. Por lo que, empieza a resurgir la utilización de vapor para la propulsión de turbinas. Los buques de turbina tienen un auge en este periodo para buscar una solución a la subida del crudo y el encarecimiento de los buques propulsados por combustibles líquidos.

A día de hoy nos encontramos un sector naval aun dominado por los combustibles líquidos, pero cada vez más y de forma gradual, los combustibles gaseosos, como el gas natural está empezando a ganar terreno al Fuel-Oil debido a sus características menos agresivas con el medio ambiente y su precio más estabilizado. A continuación, se realizará una clasificación para ver mejor la amplia gama de combustibles que se han utilizado y también algunos que podemos encontrar en los motores endotérmicos a día de hoy. Estos pueden ser combustibles sólidos, gaseosos o líquidos.

2.1.1.-Combustibles sólidos

Su origen es ciertamente remoto, ya que desde que el hombre descubrió el fuego, los viene utilizando para diversos fines como alimentar el fuego o como fuente de calor en varios procesos. Los combustibles sólidos pueden ser:

- **Combustibles sólidos naturales**, en este grupo se incluye principalmente la leña, el carbón y los residuos agrícolas de diverso origen.
- **Combustibles sólidos artificiales**, como son los aglomerados o briquetas (Bio-combustible) y carbón vegetal.

En el caso de los aglomerados y las briquetas, estos son transformados a partir de los combustibles sólidos naturales. Las briquetas o bloque sólido, son bio-combustibles para ser utilizados en estufas, chimeneas, hornos y calderas. Es un producto 80% ecológico y renovable que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña en gran medida.

Los combustibles sólidos artificiales, en definitiva son fruto de la pirogenación que sufren los combustibles sólidos naturales para su tratamiento. La pirogenación es un proceso mediante el cual, si aplicamos calor sin contacto con aire, obtenemos combustibles sólidos artificiales.

Dentro de los combustibles sólidos destaca la madera que hasta mediados del siglo XVIII fue el combustible más utilizado. Posteriormente y debido al desarrollo industrial, aparecieron nuevos combustibles sólidos como el carbón. Por lo tanto, ya aparece uno de los combustibles por excelencia del sector naval como el carbón.

La mayoría de los combustibles sólidos son combustibles derivados del carbón, es decir de los combustibles fósiles. Dentro de los combustibles

sólidos fósiles derivados del carbón podemos encontrar en función de su antigüedad diversos tipos de carbón. Cuanto más elevado sea su contenido en carbono mayor en su antigüedad.

- **Antracita**, es el carbón de mayor rango y de mayor contenido en carbono, hasta un 95%. Presenta una ignición dificultosa y arde dando una corta llama azul sin apenas humos. Coste económico elevado.
- **Hulla**, tipo de carbón con un contenido de 75 a 90 % de carbono. Es el tipo de carbón más abundante. Arde con mayor facilidad presentando llamas claras y humo negro. Hay tres variedades de hulla: la hulla grasa, al destilarla anteriormente se obtenía el gas de alumbrado; hulla magra o seca, se usaba como combustible; y hulla semi-seca que se usaba en la producción de alimento para animales. Los subproductos de la hulla pueden ser el Coque, Creosota y el Cresol o Cresol.
- **Lignito**, carbón mineral que se forma por compresión de la turba. Contenido en carbono entre el 60 y 75%. Combustible de mediana calidad, facilidad de ignición pero poder calorífico bajo. Desprende muchos residuos.
- **Turba**, material orgánico rico en carbono. Tiene entre 55 y 65 % de carbono. Está constituido por otros elementos químicos de la tabla periódica como oxígeno, nitrógeno e hidrógeno.

2.1.2.-Combustibles gaseosos

Es un gas utilizado para producir energía térmica mediante la combustión del mismo. Se denominan combustibles gaseosos a los hidrocarburos naturales fabricados para su empleo como combustibles y a todos aquellos que se obtiene como subproducto de ciertos procesos para el aprovechamiento como combustible. A día de hoy, este tipo de combustibles están aumentando su participación en la industria y se están empleando en mayor medida ya que presentan, sobre los sólidos y líquidos, ventajas tanto en transporte y almacenamiento, como en poder calorífico y facilidad de mezcla con el comburente.

Del mismo modo, el coste de adquisición es menor que los líquidos por lo que son una alternativa más que garantizada para los combustibles de hoy día. En el sector naval también están utilizándose en mayor medida, y se posicionan de forma favorable para buques de nueva construcción.

La composición de estos combustibles varía según la procedencia de los mismos, pero se pueden clasificar en gases combustibles (CO , H_2 , HC) y en otros gases como N_2 , CO_2 , O_2 . Otra clasificación sería por combustibles gaseosos naturales (gas natural) y combustibles gaseosos manufacturados (gas licuado del petróleo). Una tercera clasificación sería su grado de intercambiabilidad. Esto permite clasificar los combustibles gaseosos en tres familias (W en $\text{kJ/m}^3\text{N}$):

- **Primera familia** de $23860 < W < 31395$. Pertenecen a esta familia los gases manufacturados y el aire propanado y butanado de alta dilución.

- **Segunda familia** de $41274 < W < 57976$. Pertenecen a esta familia el gas natural y el aire propanado y butanado de baja dilución.
- **Tercera familia** de $77441 < W < 93385$. Pertenecen a esta familia los gases licuados del petróleo.

Los diferentes tipos de combustibles gaseosos que podemos encontrar para uso industrial:

- **Gas natural**, compuesto principalmente de metano en un 70 %, pero también de etano, propano, butano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrógeno, helio y ácido-sulfhídrico. Todos estos elementos y sus porcentajes dependerán de la procedencia del yacimiento. Es un gas incoloro y muy inflamable. Su origen es semejante al del petróleo así como los métodos para llevar a cabo su extracción. Según el tipo de yacimiento que estemos explotando, se distingue entre gas húmedo y gas seco. El gas húmedo aparece junto a pequeñas cantidades de petróleo, mientras que el gas seco aparece con ausencia de petróleo. Uno de los principales problemas que plantea el gas natural es su transporte. Este se puede realizar de dos formas: mediante gasoductos o mediante buques cisterna, es decir gaseros. En estos buques es necesario licuar el gas natural en una instalación de tierra. Por lo tanto, el gas natural es por excelencia el principal combustible gaseoso del sector naval, los buques de gas natural licuado aprovechan muchas veces una pequeña parte de la carga para propulsar el buque.
- **Gas de hulla**, se obtiene de la destilación seca de la hulla. Hasta mediados del siglo XX, se llamó gas ciudad y se utilizó para alumbrar

las calles de las ciudades. También fue utilizado como combustible doméstico en los hogares. Está compuesto por una mezcla de hidrógeno, metano y monóxido de carbono. Se trata de un gas muy inflamable y fuertemente tóxico. Dejo de utilizarse con la aparición de la electricidad y también con el uso del gas natural para uso doméstico.

- **Gases licuados del petróleo,** se obtienen de la destilación fraccionada del petróleo. Industrialmente se les conoce como GLP. Se licuan a presiones relativamente bajas y se comercializan en estado líquido. Se suelen transportar como el gas natural licuado en buques adaptados al producto. Dentro de estos productos se encuentra el propano y el butano.
- **Gas de carbón,** se le denomina gas pobre y se obtiene por combustión incompleta del carbón de coque. Últimamente se está desarrollando en gran medida la gasificación del carbón como combustible para centrales IGCC (**Integrated Gasification Combined Cycle**). Utilizamos el carbón para producir un gas y quemamos este gas en una turbina de gas para generar electricidad. Posteriormente los gases de escape de la combustión pasan por una caldera de recuperación para evaporar agua y hacer pasar este vapor por una turbina de vapor y generar de nuevo electricidad.
- **Acetileno,** se obtiene por reacción del agua con carburo de calcio. Se utilizaba para el alumbrado doméstico debido a su llama brillante que se producía con la combustión.

2.1.3.-Combustibles líquidos

Son materiales de generación de energía que pueden ser aprovechados para generar energía mecánica y energía cinética. La mayoría de combustibles líquidos son derivados de combustibles fósiles, sin embargo hay otros tipos.

La gran mayoría de combustibles líquidos provienen de hidrocarburos obtenidos debido a la refinación del petróleo crudo, el bencol y los alcoholes. Para poder obtener los diferentes derivados, es necesario llevar el petróleo a una refinería para ejecutar el proceso de separación. De este proceso de destilación se obtienen diferentes tipos de combustibles líquidos, dentro de los cuales se encuentran los combustibles marinos. Como nuestros dos buques de estudio utilizan para su propulsión combustibles líquidos, a continuación realizaré una explicación más extendida de los mismos y de su proceso de obtención.

2.2.-Petróleo

Actualmente los combustibles líquidos, principalmente el petróleo o sus derivados, son la principal fuente de energía para las diferentes máquinas que utilicen dicho combustible. Su razón de utilización es que ofrecen unas ventajas que otros combustibles no pueden igualar y que si las igualan no sale tan rentable si comparamos los inconvenientes. La gran mayoría de los combustibles líquidos proceden de la destilación del petróleo mediante el fraccionamiento del mismo en torres de fraccionamiento. En esta torre, los distintos combustibles son obtenidos mediante la destilación fraccionada, que consiste en separar los diferentes componentes del petróleo para obtener los productos derivados del mismo, en función de su punto de ebullición.

Los diferentes procesos que se llevan a cabo en la refinería se realizan de forma lenta y se someten a diferentes partes de tratado empezando por la llamada destilación primaria o destilación atmosférica. Durante esta parte, el petróleo se calienta en la torre y a medida que va aumentando la temperatura, los distintos componentes se van evaporando de forma sucesiva en sus respectivos puntos de ebullición.

Estos diferentes puntos de ebullición que tienen cada uno de los diferentes componentes, permiten realizar una destilación de forma fraccionada pasando de una sustancia como es el petróleo, a derivados del mismo con sus respectivos objetivos de uso. Mediante los puntos de ebullición, además de determinar especificaciones como la densidad del componente y su posible utilización o uso, también nos determina su grado de refinamiento y por lo tanto la calidad del combustible obtenido de la primera fase de la torre. Dependiendo de su localización en la torre, cada componente una vez separado del resto recibirá un proceso posterior diferente del refinado.

Después de alcanzar el punto de ebullición, empieza a evaporarse un componente dentro de la torre de destilación, este va elevándose por la torre hasta alcanzar su nivel de condensación relacionándose con sus densidades. Una vez se condensa este componente, reposa sobre su bandeja correspondiente preparado para seguir el proceso de refinado de forma individual.

La torre, se eleva verticalmente unos 30 m de altura y 1,5 m de diámetro, formando una columna de fraccionamiento. Esta longitud permite obtener una temperatura en su parte inferior de 400°C aproximadamente, mientras que en su parte superior supera tímidamente los 100°C llegando

hasta los 120°C. De esta forma, los componentes del petróleo se van evaporando individualmente a diferente temperatura y en su misma ascensión, en estado gaseosos, se van condensando quedando retenidas en sus respectivas bandejas. Las fracciones más ligeras del crudo se depositarán en la parte superior de la torre, mientras que las más pesadas se quedarán retenidas y condensadas en la parte inferior.

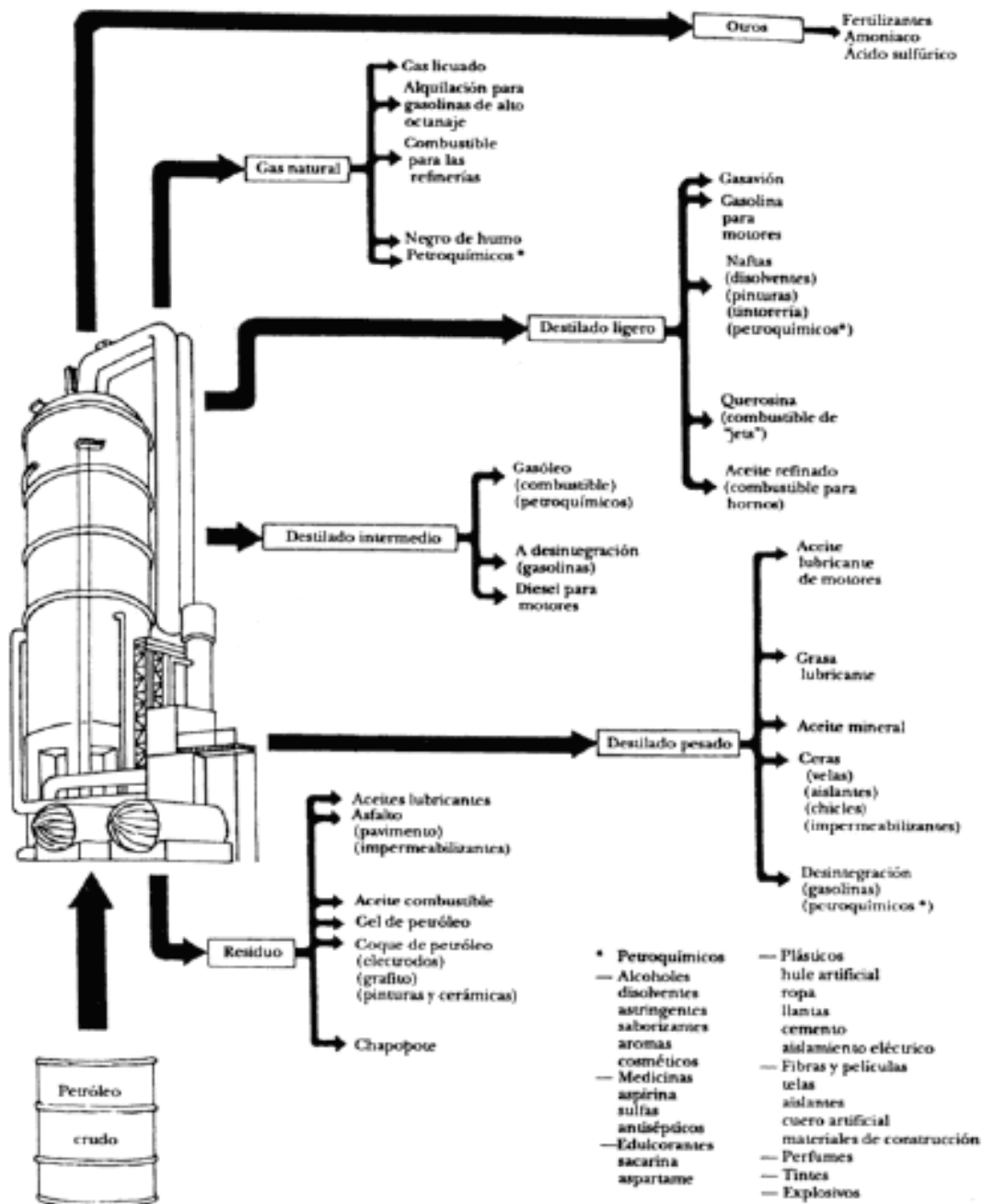


Imagen 2: Distribución destilación primaria del petróleo.

Siguiendo el esquema de la torre de refinado, vemos que como materia prima tenemos los barriles de crudo que recibimos del yacimiento. El petróleo se introduce en la torre y de la primera fase obtenemos, a diferentes alturas derivados de diferente índole. Los grupos de derivados que podemos obtener se clasificarían dependiendo de su grado de destilado siendo:

- **Residuos**, se concentran en la parte inferior de la torre debido a que no pueden evaporarse en esta primera fase y son destilados en un segundo proceso que se conoce como destilación al vacío o coquización. Dentro de este grupo destaca el chapapote, gel de petróleo, aceite de combustible, asfalto, etc...
- **Destilación pesada**, son los primeros componentes que se evaporan debido a la temperatura dentro de la torre. Obtenemos aceite lubricante para motores, aceite minera, ceras, etc...
- **Destilación intermedia**, obtenemos combustibles utilizados de forma abundante en el día a día como gasóleo y diesel.
- **Destilación ligera**, en este punto de la torre conseguimos derivados del petróleo con un refinado de mayor nivel y por lo tanto de mayor coste como son naftas y queroseno para aviación.
- **Gases**, obtención de derivados de uso más específico como pueden ser los componentes petroquímicos o el combustible para refinería.
- **Otros**, parte superior de la torre donde se condensan fertilizantes, amoníaco y ácido sulfúrico.

A modo de resumen de los derivados más importantes y representativos que se pueden extraer del petróleo una vez se ha realizado la destilación atmosférica son los siguientes:

	PRODUCTO	INTERVALO DE TEMPERATURA EBULLICIÓN	APLICACIONES
FRACCIONES LIGERAS	Gas de refinería	<20° C	Combustible para la refinería
	GLP	<20° C	Calefacción doméstica e industrial
	Gasolina	40-150° C	Carburante para automóviles
	Nafta pesada	150-200° C	Materia prima para productos químicos, disolventes.
FRACCIONES MEDIAS	Queroseno	170-250° C	Lámpara de alumbrado carburante para turborreactores
	Gas-oil	250-320° C	Carburantes para motores diesel, calefacción doméstica
FRACCIONES PESADAS	Fuel-oil ligero	340-400° C	Combustible para buques, locomotoras, etc.
	Fuel-oil pesado	400-500° C	Materia prima para lubricantes, ceras, cremas y aceites.
	Asfalto	>500° C	Pavimentación, techado, impermeabilización, etc.

Tabla 1: *Fracciones importantes de la destilación atmosférica del petróleo.*

Los residuos son destilados en un segundo proceso que se conoce como destilación al vacío o coquización. Dentro del refinamiento secundario, aproximadamente en los años 70 se empezaron a utilizar diversas técnicas de cracking como el cracking térmico y el cracking catalítico. De esta forma se podía extraer del residuo de la torre productos más ligeros, lo que supuso extraer una menor cantidad de residuos de la primera fase. Durante el Cracking, se produce la rotura de las cadenas largas de hidrocarburos en otras más cortas.

Después de que los residuos de la torre de destilación pasen por la segunda etapa de su proceso de destilado, hay que realizar una última acción sobre las fracciones restantes. Este proceso se conoce como Vis-breaking. En el Vis-breaking, el residuo procedente de la destilación al vacío se somete a un aumento de temperatura llegando hasta los 550°C, junto a un aumento de presión de 8,5 bar. Estos cambios de parámetros se realizan con el objetivo de mejorar la calidad de los destilados más pesados que se recogen en los residuos.

A día de hoy y cada vez más, se busca un mayor fraccionamiento del barril de crudo en la torre de destilación adquiriendo con esta práctica un residuo de peor calidad, llamado **HEAVY FUEL-OIL**. Cuando adquirimos este componente, ya se han extraído los productos de mayor calidad y los más volátiles, convirtiéndose este componente en el combustible marino, más importante y usado.

Por lo tanto, el fuel utilizado es un combustible que se obtiene del segundo refinado al que se le añaden otros productos destilados que ayudan a la mezcla a adquirir una viscosidad y una densidad adecuadas para su fin en los buques. Estas mezclas no siempre son iguales, ya que

pueden variar considerablemente en función de la calidad del Fuel obtenido del segundo refinado. Al final, el Fuel-Oil después de todos sus procesos de obtención, resulta ser un combustible más barato que el Diesel-Oil al estar menos refinado, con unas características que determinarán el diseño del sistema y que casi todas las veces no son del todo convenientes.

En los buques, los motores utilizados actualmente pueden quemar prácticamente todo tipo de combustible líquido, sin distinción sobre la procedencia y refino del mismo. La utilización de la variedad según la procedencia y el refino, variará también el mantenimiento y el posible estado del motor después de su funcionamiento.

De la torre de destilación podemos utilizar dos tipos de combustibles como son: el **Fuel-Oil** y el **Diesel-Oil**. Dentro de un buque podemos encontrar ambos combustibles en sus respectivos tanques preparados para su utilización o uno de los dos. Todo dependerá del tipo de motor e instalación, y también de la misión que tenga el buque ya que para navegaciones cortas o servicios portuarios es más factible la utilización de Diesel-Oil. Esto simplifica los sistemas del buque, además de reducir el espacio requerido.

El Fuel-Oil se suele utilizar en travesías de duración larga o mediana, mientras el motor se encuentra en régimen normal de navegación. Se utiliza normalmente en los motores principales. Por otro lado, el Diesel-Oil con fracciones más ligeras es perfecto para motores auxiliares y servicios del buque. Utilizado para maniobras en puerto y operaciones de arranque y parada.

Las diferencias más importantes entre ambos combustibles:

- El Fuel-Oil es un combustible con una **mayor viscosidad** frente al Diesel-Oil.
- El Fuel-Oil es un combustible de **bajo precio** en relación a otros tipos de combustibles para instalaciones propulsoras marinas, aun con la instalación de instalaciones especiales para su tratado.
- La utilización de Fuel-Oil obliga a que sea **calentado** mediante serpentines o intercambiadores de calor con una instalación de tuberías de acompañamiento de vapor bien aisladas para que pueda ser bombeado e inyectado en los motores. En sus primeros usos, se vio que tanto las bombas como los inyectores no estaban preparadas para trabajar con el combustible. En el caso del Diesel-Oil, este puede utilizarse sin ningún tipo de instalación especial.
- En el caso del Fuel-Oil, su combustión genera **mayores residuos** debido a la gran cantidad de impurezas que contiene, por lo que debe ser decantado en tanques de decantación y tratado antes de su utilización.
- Debido a los mayores residuos del Fuel-Oil, también se posiciona como uno de los principales combustibles, en la **emisión de SOx** a la atmosfera debido a las trazas de azufre. El Diesel-Oil al ser un combustible más refinado no genera tantos residuos y por lo tanto emisiones de SOx.
- La utilización de Fuel-Oil en las diferentes máquinas **disminuye su rendimiento e incrementa el mantenimiento** necesario para su funcionamiento. Aunque el Diesel-Oil no esté completamente limpio y se necesiten filtros para extraer residuos del mismo, en el

funcionamiento en las máquinas permite obtener mayor rendimiento y disminuir el mantenimiento con su utilización.

- La utilización de Diesel-Oil nos ofrecerá una **respuesta más rápida** en un periodo corto de tiempo, mientras que el Fuel-Oil primero deberá calentarse y debido a su viscosidad y fluidez, no permite disminuir el tiempo de reacción.

2.3.-Propiedades del Fuel-Oil.

Al final el elemento que utilizaremos en los buques además del Diesel-Oil como he comentado anteriormente, se tratará del Fuel-Oil. La composición del fuel puede llegar a ser muy compleja ya que influyen varios factores como el lugar de procedencia del mismo, la cantidad de compuestos y productos que lo forman, el tipo y calidad de la torre de refinado e inclusive el proceso de refinamiento. Por lo tanto, se establecen muchos parámetros de forma empírica a la hora de tratar con el fuel residual.

Todos estos parámetros y factores del Fuel-Oil son una fuente de información importantísima tanto para los fabricantes de motores como para las instalaciones que utilizan este combustible, ya que mediante los valores facilitados por las compañías petrolíferas, se pueden sumar unos parámetros adicionales a la hora de confeccionar para los motores u otras máquinas, los manuales y sus especificaciones.

La clasificación de todos los parámetros a tener en cuenta es elevada, por lo que hay que prestar más atención a las que afecten mayor medida a la calidad del combustible que nos ayudarán a predecir en mayor o menor medida el comportamiento del combustible utilizado. Con todos los datos

podemos adjuntarle un tratamiento u otro, además de predecir su comportamiento en el proceso de combustión.

Hay diferentes tipos de Fuel-Oil dependiendo del tipo de mezclado entre elementos destilados y residuales. Como he comentado anteriormente, el Fuel-Oil es un componente residual que se suele mezclar con distintas proporciones con productos destilados para facilitar su utilización para diversos fines. Esta mezcla forma los diferentes tipos de Fuel-Oil. Los análisis más importantes a los que puede ser sometido un Fuel-Oil cumplen con un método de ensayo específico para alcanzar el valor permitido y típico. Los análisis más frecuentes e importantes son:

Características	Método de ensayo	Unidad	Valor Típico
Densidad a 15 °C	ASTM D-1298 /ASTM D-4052	Kg/litro	0,9603
Visc. Cinemática a 50 °C	ASTM D-445	cSt	566
Punto de Inflamación	ASTM D-93	°C	86
Cenizas	ASTM D-482	%p/p	0,03
Azufre	ASTM D-4294	%p/p	0,8
Poder Calorífico Superior	ASTM D-4868	MJ/kg	min 41,1

Tabla 2: *Análisis más frecuentes del Fuel-Oil.*

El valor típico dependerá de su lugar de procedencia, aunque la mayoría se establecen en valores muy próximos y con una variación muy pequeña.

2.3.1.-Viscosidad

Parámetro de los más importantes a la hora de llevar a cabo la manipulación de cualquier combustible. La viscosidad se puede definir

como a la dificultad de fluir de un fluido. Dentro de viscosidad podemos distinguir dos tipos, por un lado, la viscosidad dinámica que mide la resistencia que tiene un fluido a fluir mediante la fuerza, su unidad más utilizada es el Poise (P). Por otro lado, está la viscosidad cinemática, que hace referencia a la velocidad a la que fluye un fluido a través de un orificio de diámetro determinado. Se mide el tiempo que tarda en atravesar dicha abertura. En definitiva es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales que pueda sufrir. En el caso en que un fluido no tenga viscosidad, sería un fluido ideal. Esta resistencia y oposición del fluido, solo se manifiesta cuando el líquido se encuentra en movimiento. Si se llevan a cabo experimentos con un mismo fluido a diferente temperatura de uso, se puede apreciar que la viscosidad está altamente relacionada con la temperatura de forma inversamente proporcional. Por lo tanto, un parámetro ligado a la viscosidad y a tener en cuenta para la utilización del Fuel-Oil, es la temperatura del mismo.

Si el valor de la viscosidad fuera muy grande, se produciría un rozamiento entre las capas adyacentes de igual magnitud, por lo que no podría moverse unas capas respecto de otras, o se moverían muy poco. En este caso estaríamos delante de un sólido. Este punto da mayor importancia a la necesidad de calentar el Fuel-Oil para disminuir la viscosidad del fluido y así las capas del mismo puedan fluir a una mayor rapidez.

A día de hoy, se utiliza como referencia para determinar la viscosidad de un fluido, la viscosidad cinemática. Esta se define como la resistencia o fuerza necesaria para desplazar un cubo de fluido de unidad unitaria en superficie y grosor a velocidad unitaria. La unidad utilizada en este caso es el centiStoke (cSt). Para realizar la medida de viscosidad de forma

estandarizada, se debe calentar el Fuel-Oil hasta 50°C y 40°C para los otros combustibles líquidos destilados obtenidos del petróleo.

Un dato importante, es que no solo la viscosidad puede representarse en centiStokes, en otros casos también puede aparecer relacionada con unidades que sigue los mismos métodos para cuantificar la viscosidad, pero formulado de diferente forma. Podemos encontrar los grados Engler, Saybolt Universal (SSU), Saybolt Furol (SSF) y Redwood N°1 y N°2.

Viscosidad Cinemática cSt/50° C	Redwood N.º 1/100 F
IFO 30	200
IFO 40	300
IFO 60	400
IFO 80	600
IFO 100	800
IFO 120	1000
IFO 150	1200
IFO 180	1500
IFO 240	2000
IFO 280	2500
IFO 320	3000
IFO 380	3500
IFO 420	4000
IFO 460	4500
IFO 600	6000

Tabla 3: Equivalencia entre viscosidad cinemática en cSt y Redwood N° 1.

Es muy común con la viscosidad las comparaciones entre las diferentes unidades de medición ya que dependiendo del lugar de procedencia o del país exportador, utilizarán una medida u otra. Esta conversión entre unidades la podemos realizar mediante la utilización de diversos diagramas que se utilizan en la industrial para realizar la conversión entre unidades. A partir de una unidad como, puede ser los centiStokes y de una

temperatura, podemos saber mediante el diagrama su valor en las diferentes unidades mediante las que se puede representar la viscosidad.

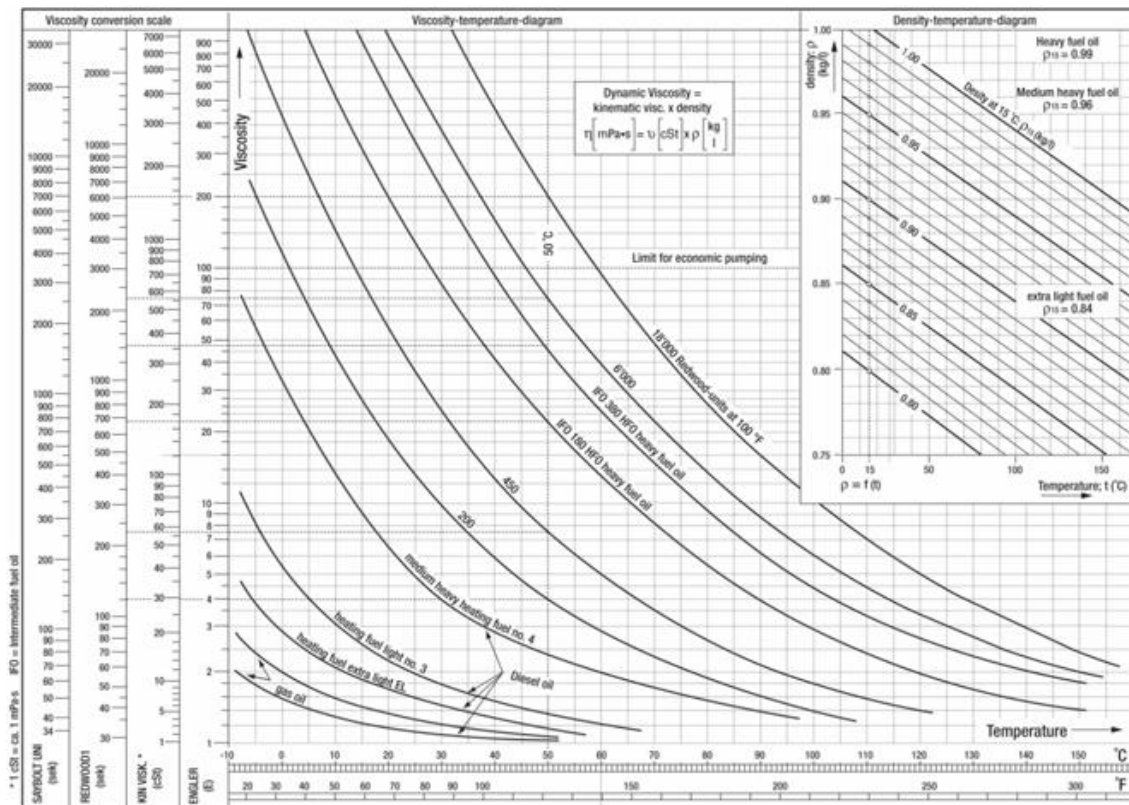


Imagen 3: Diagrama de conversión de unidades de viscosidad.

En el diagrama superior, en la parte inferior tenemos la temperatura a la cual tenemos nuestro combustible. En el medio del diagrama tenemos las líneas exponenciales de nuestros combustibles, desde gas-oil hasta Heavy Fuel-Oil. Una vez tenemos la temperatura y el combustible, solo falta trazar una horizontal hacia la unidad en la que queremos la viscosidad.

La viscosidad debe considerarse como un factor que influye de gran manera sobre la manipulación del mismo en bombas, calentadores, tuberías, etc... La viscosidad por lo tanto, nos va a definir como debe ser nuestro sistema de calentamiento del Fuel-Oil, para su manejo y trasiego a través del buque.

En los inicios de utilización del Fuel-Oil en bombas e inyectores, refleja el cambio que se ha tenido que realizar, ya que dichos elementos de inyección y bombeo no eran aptas debió a la viscosidad que presentaba el Fuel. Mediante modificaciones de la maquinaria y un juego con la viscosidad del combustible han hecho posible encontrar un punto intermedio donde ambos aspectos se comprometen para ofrecer un trabajo correcto.

2.3.2.-Densidad

Parámetro que relaciona la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de un fluido y que se establece a una temperatura de 15º C. Se representa como:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Su unidad en el Sistema Internacional es el **kg/m³**.

Pero como en la viscosidad, no todos los países y regiones del mundo utilizan la misma medida de densidad. En los países anglosajones utilizan la gravedad específica, en Estados Unidos la unidad que utilizan es el grado A.P.I, definido por el Instituto Americano del Petróleo, el cual también se relaciona con el peso específico mediante la siguiente expresión.

$$A. P. I. = \frac{141,5}{sp. gr. 60/60^{\circ}F} \cdot 131,5$$

Para combustibles como el Fuel-Oil, la expresión americana es una de las más utilizadas para procesos de centrifugado y para hacer referencia a la diferencia de densidades entre el agua y el combustible.

Degree API	Specific Gravity	Weight	
		(lb/US gal)	(kg/m ³)
8	1.014	8.448	1012
9	1.007	8.388	1005
10	1.000	8.328	998
15	0.966	8.044	964
20	0.934	7.778	932
25	0.904	7.529	902
30	0.876	7.296	874
35	0.850	7.076	848
40	0.825	6.870	823
45	0.802	6.675	800
50	0.780	6.490	778
55	0.759	6.316	757
58	0.747	6.216	745

Tabla 4: *Expresión americana de densidad.*

Como en la viscosidad, con la densidad también hay una relación entre todas las unidades utilizadas para su expresión. En la tabla de arriba podemos ver como pasar de grados A.P.I a la gravedad específica o la densidad en S.I.

La densidad máxima que se admite en el tratamiento satisfactorio de plantas de purificación de un fuel residual como el fuel pesado en los buques es de aproximadamente **0,991 gr/cm³**. Si este valor aumenta, la separación del agua y el combustible se complicaría.

La densidad de Fuel-oil u otro combustible en un buque, será un parámetro importante para calcular el llenado de los tanques, así como el peso del combustible almacenado ya que dependiendo de su procedencia también obtendremos diferentes valores de densidad.

Podemos encontrar otros tipos de densidad en objetos u otras superficies que nos darán un factor de densidad determinado, como la densidad relativa, que es la relación entre la densidad de nuestro fluido y la de otra

sustancia, es una magnitud adimensional. La densidad referencia habitual para los líquidos es el agua líquida a 1 atm y 4°C. También podemos encontrar el parámetro de densidad, como densidad media, densidad puntual, aparente y real.

Hay varios instrumentos para medir la densidad como:

- El **densímetro**, utilizado para medición directa de un fluido.
- El **picnómetro**, para medidas precisas de densidad en sólidos, líquidos y gases.
- La **balanza hidrostática**, para calcular densidad en sólidos.
- La **balanza de Mohr** sirve para medir de forma precisa la densidad en líquidos.

La densidad de un fluido puede sufrir cambios cuando variamos su presión o su temperatura. Cuando en un fluido aumenta su presión, su densidad también aumentará. En el caso de la temperatura, la densidad disminuirá si la presión permanece constante. Por lo tanto es un parámetro que hay que tener en cuenta a la hora de variar la viscosidad del fluido. Es un juego conjunto para encontrar las mejores prestaciones de uso.

2.3.3.-Punto de inflamación

El punto de inflamación o también llamado Flash Point, se refiere a la temperatura más baja en la cual el Fuel-Oil comienza a desprender suficientes vapores para formar una mezcla en el aire de carácter inflamable. La inflamación del combustible permanecerá hasta que se retire la llama. Es un factor que hay que tener en cuenta para ofrecer un margen de seguridad contra el riesgo de incendio que puede acaecer durante su almacenamiento en los tanques, la manipulación durante su

trasiego y su transporte a bordo para su combustión. La temperatura de inflamación de los diferentes fueles suele rondar entre los 60°C y los 70°C. Una condición importante y que hay que tener en cuenta sobre el Flash Point, es que no debe ser inferior en el Fuel-Oil marino de 60°C, excepto para el equipamiento de emergencia localizado fuera del espacio de maquinaria. En este caso podemos llegar hasta los 43°C. Un líquido con un punto de inflamación inferior a 60°C o 37°C, dependiendo de los estándares aplicados se considera inflamable, mientras que si el Flash Point es superior a las temperaturas anteriores se considera un combustible no inflamable.

Estos vapores se producen cuando la temperatura del combustible incrementa, cuanto más incrementa la presión, la concentración de vapor en el aire también es mayor. De hecho, la temperatura determinara la concentración de vapor de combustible en el aire.

Hay dos formas de medir la temperatura de inflamación, mediante vaso abierto o vaso cerrado. En el tipo de vaso abierto, la muestra de combustible se sitúa en un recipiente abierto y se calienta. A intervalos se enciende una llama en la superficie del combustible y el punto de inflamación se mide con la variación de la altura de la llama encima de la superficie del líquido. La altura del punto de inflamación coincidirá con el punto de combustión. El ejemplo más conocido es la Cleveland Open Cup (COC).

En las medidas con vaso cerrado tenemos dos tipos como, el vaso cerrado sin equilibrio como el Pensky-Martens, en el cual los vapores del combustible no tiene un equilibrio térmico y el método de vaso cerrado en equilibrio conocido como Setaflash. En el método de vaso cerrado en

equilibrio, los vapores estarán en un equilibrio térmico con el combustible o fluido. En ambos métodos, el recipiente se sella con una tapa por la que se puede introducir la fuente de ignición. El método cerrado normalmente marca valores más bajos de punto de inflamación que las de vaso abierto, además de ofrecer aproximaciones mejores de la temperatura de inflamabilidad. Estos métodos para determinar el Flash Point de un combustible se especifica el código ASTM, ISO, DIN, JIS y AFNOR.

COMBUSTIBLE	FLASH POINT
Ethanol (70%)	16,6°C
Gasolina	-43°C
Diesel	A partir de 62°C
Fuel	A partir de 60°C
Keroseno	De 38°C a 72°C
Combustible vegetal	327°C
Biodiesel	A partir de 130°C

Tabla 5: *Puntos de inflamación en diferentes combustibles.*

2.3.4.-Punto de solidificación

El punto de solidificación o temperatura de fluidez, es la temperatura mínima a la cual un fluido se semi-solidifica y empieza a perder su comportamiento como fluido. Con dicha temperatura, las parafinas presentes en el combustible cristalizan impidiendo de esta forma que el fluido fluya correctamente. Es la temperatura más baja a la cual el Fuel-Oil puede ser trasegado.

Debido a este punto, el combustible como Fuel-Oil, debe ser almacenado y bombeado en un buque a temperaturas mayores a su punto de fluidez,

modificando su viscosidad y su densidad al mismo tiempo. Hay que presentar atención a la temperatura del combustible, ya que por debajo del punto de solidificación, componentes del combustible cristalizan depositándose en serpentines, obstruyendo filtros y tuberías, en definitiva impidiendo y dificultando el calentamiento y circulación del combustible a la vez que se disminuye la transmisión térmica entre el foco caliente y el combustible.

Esto no solo puede afectar al circuito de la instalación, sino también a los tanques de almacenamiento, especialmente los situados en contacto con agua de mar ya que al bajar la temperatura puede precipitar dentro de los tanques. Por lo tanto, el combustible se suele almacenar varios grados por encima de su temperatura de fluidez, de esta forma evitamos los problemas de la solidificación y controlamos periódicamente su temperatura por posibles anomalías.

Este factor en los combustibles residuales como el Fuel-Oil no suele presentar ningún problema ya que para reducir su viscosidad hay que calentarlo en gran medida, por lo que sobrepasamos en más de 5°C su temperatura de fluidez. Es un parámetro importante y a tener en cuenta en el Diesel-Oil y combustibles que no necesitan calentarse para ser bombeados. En el crudo, un punto de solidificación elevado se asocia a que el combustible contiene un alto grado de parafinas en su estructura.

Para medir el punto de solidificación en productos derivados del petróleo, hay que enfriar la muestra de combustible para permitir la solidificación de las parafinas. Una vez enfriado y 9°C por encima del punto de fluidez esperado, el frasco se retira de la fuente enfriadora y se inclina para comprobar si hay un movimiento en la superficie del fluido. Si la

superficie del fluido se mueve, se rebajan 3°C y así sucesivamente hasta que durante 5 segundos el fluido no fluya. Cuando no se aprecie movimiento, se añaden 3°C a la temperatura correspondiente y este es el resultado de la temperatura de fluidez.

Hay métodos automáticos recogidos en el ASTM D5949, como el Método de prueba estándar para Punto de fluidez de Productos de Petróleo, es un método automático de impulsos de presión alternativo al método manual. Se utiliza un aparato automático. Este proceso determina el punto de solidificación en poco tiempo, además de no necesitar una bañera de enfriamiento.

A la hora de medir el punto de fluidez en combustibles derivados del petróleo como el Fuel-Oil, aparecen dos puntos de fluidez. El punto de fluidez superior se mide mediante el vertido de la muestra en un frasco de ensayo. Esta muestra se enfría y se inspecciona según el método de fluidez habitual. En el caso del punto inferior, también se vierte la muestra en un recipiente de acero inoxidable a presión. Esta muestra se calienta por encima de 100°C en un baño de aceite. Después de un tiempo determinado el recipiente se retira del baño caliente y se enfría en poco tiempo. Esta muestra se vierte en un frasco de prueba como en el caso para determinar el punto superior y se cierra inmediatamente con un tapón con termómetro. Cuando la muestra se ha enfriado, se inspecciona según los métodos del punto de fluidez vistos anteriormente.

Con estos dos valores de punto de fluidez podemos determinar la temperatura aproximada.

2.3.5.-Residuos carbonosos

Característica de los combustibles que mide la tendencia que tiene un combustible a dejar residuos carbonosos cuando se quema. Hay que prestar atención cuando el combustible se usa en condiciones de temperaturas elevadas y en ausencia de aire. Los combustibles en estas condiciones tienen tendencia a formar depósitos carbonosos durante su combustión que pueden afectar al sistema de combustible y los elementos de combustión. Este residuo se puede expresar como Residuo carbonoso Conradson o como Residuo carbonoso Ramsbottom.



Este fenómeno se relaciona en gran medida con la proporción de carbono e hidrogeno presente en la combustión. La cantidad de formación de residuos carbonosos también dependerá del origen del crudo y también del tipo de proceso de refinado utilizado en las instalaciones.

Imagen 4: *Medidor Conrad de residuos carbonosos.*

En las instalaciones se utilizan procesos de cracking térmico que produce relaciones elevadas de carbono e hidrógeno y por lo tanto combustibles como el Fuel-Oil tiene tendencia a la formación de estos residuos. Un combustible con una tasa elevada de residuos da lugar a una reducción de la eficiencia de la combustión.

2.3.6.-Punto de enturbiamiento o de nube

Es la temperatura a la cual los sólidos que están presentes en el combustible de forma disuelta, ya no son completamente solubles y

empiezan a precipitar dando un aspecto al fluido de turbidez y nada claro. Este fenómeno también se conoce como Cloud Point y es muy relevante para elementos que se encuentran en el circuito de combustible como válvulas, filtros o inyectores. Esta especie de cera que se va formando se va acumulando en los elementos anteriormente mencionados o se va posando en las tuberías obstruyendo el paso del combustible.

Para medir este punto de enturbiamiento en los combustibles derivados del petróleo, se recurre a las especificaciones de ASTM D2500. La muestra de ensayo se vierte en un frasco de prueba hasta la mitad. Para cerrar el frasco se utiliza un tapón o corcho con un termómetro adjunto. La parte del termómetro para recoger la medición se sitúa en el fondo del recipiente. La muestra se coloca en un baño donde se enfría a una temperatura constante para evitar un enfriamiento excesivo. Cuando la temperatura disminuya 1°C , la muestra se extrae y se examina la nube. Cuando los cristales de parafina se formen por primera vez en la pared del recipiente con la aparición de una nube blanquecina o lechosa, estaremos en el punto de enturbiamiento.

Además del proceso manual, también se puede utilizar el método automático ASTM D5773, método constante en la velocidad de refrigeración. Es una alternativa al proceso manual. Se utiliza un aparato automático. Mediante el aparato determinamos enturbiamiento dentro de un rango de temperaturas. La muestra también es enfriada mediante un dispositivo Peltier. Durante este periodo de enfriamiento, la muestra es continuamente iluminada por una fuente de luz. De esta forma tenemos la muestra en continua supervisión. Cuando se detectan los primeros cristales, tenemos la temperatura de enturbiamiento. Al hablar del

taponamiento de filtros debido a los cristales que precipitan debido a la temperatura, tenemos el punto de obstrucción del punto frío.

2.3.7.-Temperatura de autoignición

La ignición depende de muchas de las características del combustible como viscosidad, calor específico, punto de encendido, número de cetano, estructura de combustible, etc... La medición se realiza de forma directa en un motor de prueba. Cuanto más baja es la temperatura de autoignición, mayor es el riesgo de incendio por accidente. La temperatura de autoignición se refiere a la temperatura más baja, en condiciones de presión de una atmósfera, en la cual una mezcla de aire-vapor o gas inflamable en contacto con el aire llega a arder o calentarse de forma espontánea sin necesidad de una fuente exterior de ignición. Si alcanzamos dicha temperatura obtenemos la energía suficiente para llevar a cabo la reacción de combustión. Esta temperatura se puede reducir con catalizadores en su circuito como el polvo de Óxido de hierro cuando la atmósfera es rica en oxígeno y con presiones elevadas. Los valores de la temperatura de ignición son muy superiores a la de inflamación y se suele encontrar entre los 200 y 700°C para una gran variedad de compuestos.

COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN
Ethanol (70%)	363°C
Gasolina	280°C
Diesel	210°C
Fuel	210°C
Keroseno	220°C

Tabla 6: Relación combustibles y temperatura de autoignición.

2.3.8.-Volatilidad

Es una medida que marca la tenencia de una sustancia a pasar a vapor y su facilidad para que este cambio de estado se produzca. A una temperatura fijada, las diferentes sustancias con una presión de vapor mayor se empiezan a evaporar de forma más sencilla que las sustancias de menor presión. Esta característica aunque por lo general se aplica en mayor grado a los líquidos, también se puede aplicar a sólidos.

Esta presión de vapor de las sustancias es la presión ligada a un vapor que se encuentra en equilibrio con sus fases no vaporizadas. Cuanto mayor sea la presión de vapor de un líquido a una temperatura determinada, mayor será la volatilidad. La volatilidad depende del comportamiento del motor durante la fase de arranque y en la fase de acelerado. Dependiendo del grado de volatilidad del combustible, pueden surgir inconvenientes como la formación de vapor en el circuito de combustible y la dilución del lubricante.

La volatilidad se puede determinar mediante dos métodos:

- **Curva de destilación**, un combustible líquido es una fracción de la destilación del crudo de petróleo. Por lo tanto, cada combustible tendrá su grado de volatilidad dependiendo de donde cortemos su proceso de destilación.
- **Presión de vapor de Reid**, no es una medida exacta de la volatilidad, pero nos mide la tendencia que presenta el combustible para pasar a fase vapor. Para determinarla se mide la presión de vapor formado en el calentamiento de una muestra de combustible líquido a 37,8°C según el ASTM-323.

Este es un método de prueba para determinar la presión de vapor de productos derivados del petróleo y de aceites con puntos de ebullición inicial por encima de 0°C. Esta prueba es importante para conocer el comportamiento del combustible en su lugar de almacenamiento en la refinería. Lo que obtenemos de este ensayo es conocer una medida indirecta de los elementos ligeros o muy volátiles que contiene el combustible. Esto ayudará a las medidas de almacenamiento y transporte del combustible.

2.3.9.-Peso específico

Es la relación que se obtiene entre el peso de una sustancia y su volumen.

Para expresar el valor de dicha relación utilizamos la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

De la expresión deducimos que el peso específico (γ) es el resultado de multiplicar la densidad (ρ) por la gravedad (g). Para expresar las unidades de peso específico de las diferentes sustancias podemos utilizar el Sistema Internacional de Unidades que lo expresa en N/m^3 o expresarlo en el Sistema Técnico en kgf/m^3 . Los límites de peso específico de combustibles como el Diesel-Oil, Fuel-Intermedio y Fuel-Pesado se exponen a continuación:

COMBUSTIBLE	PESO ESPECIFICO A 15°C (kg/dm^3)
Gas-oil	0,84-0,89
Diesel-oil	0,884
Fuel-oil	Superior a 0,890

Los límites de peso específico variarían dependiendo de su grado de refinamiento y temperatura de ensayo.

2.3.10.-Cenizas

Elemento presente en el combustible. Suelen estar formadas por partículas de níquel y vanadio, así como elementos introducidos a través de los procesos de cracking térmico o vis-braking en la refinería como la sílica o el aluminio. En la mayoría de los casos, un combustible con un contenido superior al 0,1% de cenizas, es considerado combustible con alto contenido de impurezas.

Todas las impurezas que estén contenidas en el combustible son perjudiciales pudiendo producir posteriormente problemas de corrosión y obstrucción como veremos más adelante, en definitiva, una disminución del rendimiento de la máquina y su ciclo de vida.

Las cenizas por su parte producen daños en el motor, desgastando por una parte los aros del pistón, el cilindro y las válvulas; ensuciando los elementos comentados debido al vanadio y sodio, lo que produce futuras corrosiones. Esta acumulación de suciedad dificulta la combustión y causa residuos carbonosos en inyectores y válvulas de escape, reduciendo la calidad de inyección y combustión, además de no permitir el cierre correcto de la válvula y por lo tanto el ciclo termodinámico. Para determinar la cantidad de cenizas en el combustible líquido, se sigue el método ASTM D 482 que trata el tema de la ceniza en los productos derivados del petróleo, determinando su cantidad y deduciendo la calidad del combustible.

2.3.11.-Sedimentos

Son residuos no solubles que aparecen después del proceso de refinado del crudo en la refinería, por lo que es añadido durante su transporte y almacenaje. Estos sedimentos se forman a partir de óxidos, arena, polvo, etc... Estos elementos se añaden involuntariamente al combustible en sus procesos posteriores de tratamiento una vez son extraídos de la refinería y que se van depositando hasta su almacenamiento en su lugar de destino.

El problema de la formación de lodo en el combustible recae principalmente en el taponamiento y obstrucción de elementos del circuito de combustible una vez estos sedimentos se filtran con la circulación del mismo. Estos sedimentos circulan por la línea de distribución del sistema de combustible embotando los elementos que encuentra a su paso, pudiendo ser válvulas de regulación, filtros, bombas, etc... Su mal funcionamiento conlleva un mantenimiento más frecuente o la sustitución de los elementos, ocasionando un coste añadido.

2.3.12.-Poder calorífico

Es la energía que puede desprender una unidad de volumen de combustible cuando se produce una reacción química de oxidación en dicha unidad. Esta energía se expresa como la energía máxima que puede liberar la unión entre el combustible y el comburente. Este valor variará en relación a las cantidades de hidrogeno y de carbono del combustible.

Esta magnitud puede variar dependiendo del modo o método en el que se mida. Dependiendo del método prestaremos atención a la expresión del poder calorífico superior o al poder calorífico inferior. Después de

investigaciones sobre cuál de los dos poderes caloríficos era el mejor dispuesto para expresar dicha magnitud, se llegó a definir como conclusión, que la denominación de poder calorífico superior sería para el calor verdaderamente producido en la reacción química y el poder calorífico inferior, representaría el calor aprovechable de dicha reacción.

Esta característica es fundamental desde el punto de vista económico y por lo tanto, un factor importantísimo para evaluar el rendimiento de la instalación. Un mayor poder calorífico se traduce en una producción mayor de calor, lo que se transformara en un mayor trabajo interior de los órganos del motor. El consumo de combustible para realizar esa cantidad de trabajo será menor que en otros combustibles de menor poder calorífico, por lo que habrá un menor gasto de combustible. A mayor poder calorífico, mayor trabajo, lo que se traduce en una mayor potencia térmica en el motor.

El poder calorífico superior, se define como la cantidad total de calor que se desprende durante la combustión completa de una unidad de volumen del combustible utilizado cuando el vapor de agua que se origina se condensa y se contabiliza, el calor desprendido en el cambio de fase. El poder calorífico de la muestra se medirá con una bomba calorimétrica. La muestra del combustible junto con el exceso de oxígeno, se inflamará en la bomba y se recogerá el valor de calor. Una vez se lleva a cabo la medición, se deja enfriar a temperatura ambiente, mientras el vapor de agua se condensa, el calor producido se incluye en el valor resultante.

En el caso del poder calorífico inferior, se define como la cantidad total de calor desprendido durante la combustión completa de una unidad de volumen de combustible, pero en este caso sin contar la parte correspondiente a la condensación del vapor de agua que se genera en la

combustión. El calor contenido no resulta condensado como en el superior. Aun así la obtención directa del valor del poder calorífico inferior es muy complicada pudiendo inducir a un error en el procedimiento, por lo que se obtiene primero el valor del poder calorífico superior teniendo en cuenta el calor de la condensación y luego se halla el valor del poder calorífico inferior a través de cálculos matemático.

2.3.13.-Índice de carbón aromático calculado (CCAI)

La aromaticidad en el Fuel-Oil para el desarrollo de su combustión, ha sido demostrado que es muy relevante y a tener presente durante la utilización de un combustible. Este índice se utiliza como indicador del grado de calidad que tiene el combustible para permitir su ignición y la utilización del mismo en los diferentes ámbitos de uso. Este parámetro se calcula teniendo en cuenta la viscosidad y la densidad del combustible permitiendo clasificar todos los combustibles residuales según sus características de ignición.

Uno de los problemas, en los combustibles con alto contenido en partículas aromáticas, es que en un motor de poca carga, donde las temperaturas de arranque son bajas, no todos los elementos aromatizantes se evaporan permitiendo una ignición en el tiempo preciso, provocando en la mayoría de los casos un retraso de la ignición.

El cálculo de dicho índice se realiza a través de la siguiente formula, donde aparecen dos parámetros comentados anteriormente como son la viscosidad y la densidad del combustible:

$$CCAI = D - 81 - 141 \log [\log (V_k + 0.85)] - 483 \log \left[\frac{T + 273}{323} \right]$$

Donde D es la densidad en kg/m^3 a 15°C y V_k es la viscosidad en cSt a 50°C . Si queremos comprobar el resultado y compararlo por otro método, podemos utilizar gráficos para obtener el índice o programas matemáticos que introduciendo el parámetro de la viscosidad y la densidad nos den un valor del CCAI.

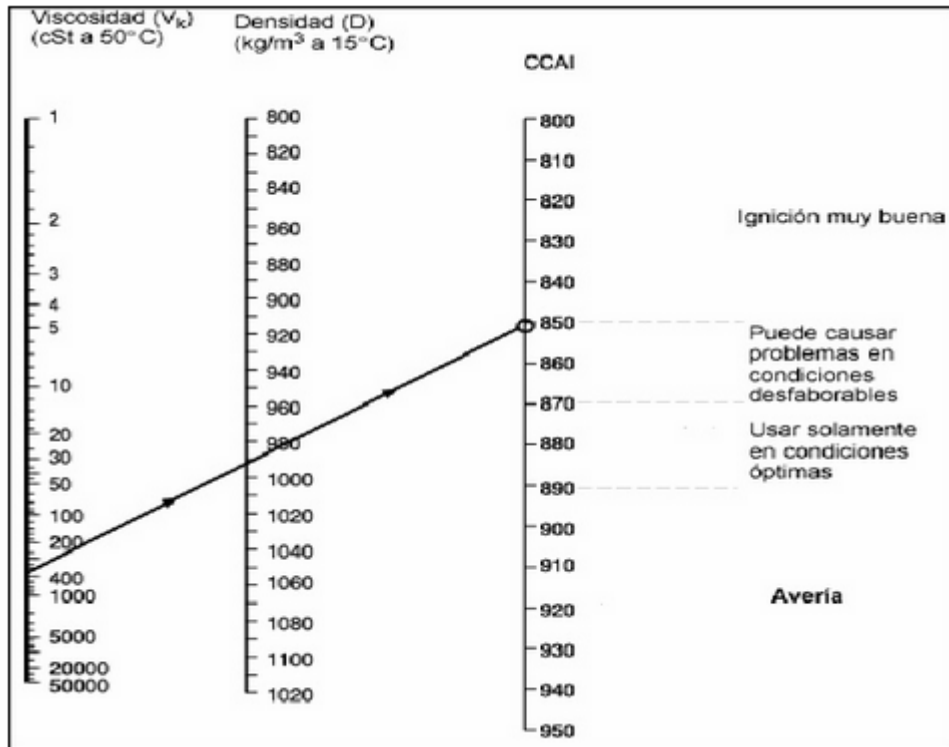


Imagen 5: Gráfico para la obtención del CCAI.

Si el valor que surge del cálculo es elevado, indica que tenemos una calidad de ignición desfavorable, provocando un retraso en la ignición del combustible provocando postcombustiones en la cámara que incrementa tensiones en los elementos del motor que pueden causar averías futuras y problemas mayores. Un motor diesel puede aceptar valores hasta un índice de 850. A partir de 850 hasta 870 empiezan los inconvenientes a pequeña escala provocando funcionamiento errático por baja temperatura, insuficiente precalentado, mala inyección, etc. Llegados a valores entre 870 y 890 los problemas anteriores se magnifican pudiendo

ocasionar si sigue aumentando el índice un funcionamiento dañino para los componentes y el motor en general.

2.3.14.-Asfaltenos

Los asfaltenos son hidrocarburos de elevado peso molecular que contiene azufre, vanadio, etc... los asfaltenos necesitan altas temperaturas y mucha energía para romper su estructura. Esta necesidad produce que la combustión se alargue más tiempo del requerido. Todos los combustibles pesados contienen asfaltenos en disolución, entre un 6 y un 15 %.

Propiedad de los combustibles que influye de forma determinante, a través de su cantidad, en el tiempo de combustión del mismo. Por lo tanto, a mayor contenido de asfaltenos, el combustible tarda más en quemarse, asociándose con problemas de partículas inquemadas. Un alto contenido de asfaltenos requiere un exceso de aire para realizar un quemado completo, perdiendo eficiencia técnica.

La quema de combustibles con alto contenido en asfaltenos produce concentraciones elevadas de productos contaminantes en elementos del motor, además de llevar a cabo consumos excesivos de combustible. Los problemas de inestabilidad e incompatibilidad entre combustibles, viene afectado también si los combustibles contienen un alto contenido en asfaltenos. La precipitación de asfaltenos en los combustibles puede provocar taponamiento de la línea y sus elementos.

2.3.15.-Índice de cetanos

Es otro de las características que añaden calidad al combustible, refiriéndose al encendido del mismo durante su funcionamiento. Esta calidad estará relacionada con la composición del hidrocarburo. A través

del valor del índice podremos conocer el retraso de la ignición, el tiempo que transcurre entre que se realiza la inyección del Fuel-Oil hasta que este se inflama. Si el contenido en cetanos es elevado, la calidad de ignición será la correcta, en cambio si el índice es bajo, significara que la ignición se retrasa y obtendremos una combustión inadecuada dando lugar a ruido excesivo, aumento emisiones, reducción de rendimiento y aumento de la fatiga del motor.

Los motores cuyos regímenes se encuentran por debajo de 400 rpm, pueden funcionar con un índice de cetano 25, para motores de más de 400 rpm es necesario un índice de cetano mínimo de 40.

2.4 Impurezas del Fuel-Oil

Estas pueden ser cenizas, agua metales u otros sólidos, que se encuentran presentes en combustibles pesados como el Fuel-Oil. Estas impurezas pueden causar problemas de índole grave afectando a la combustión y el proceso de obtención de energía en la máquina. Estos problemas pueden derivar desde formación de depósitos en la cámara de combustión, depósitos en orificios obstruyendo el paso del combustible y obstrucción en válvulas de escape y aros. Todo esto da como resultado un desgaste en los elementos del motor excesivo provocando a la larga rotura, corrosión y fatiga.

Se demuestró por lo tanto, que las impurezas formadas durante el proceso de obtención de los combustibles en la refinería, transportación hasta su lugar de destino, almacenamiento en tanques especiales y consumo del mismo en los puntos de quema, afectan en gran medida a la

calidad de combustión y con ello a la larga causa daños en los elementos del sistema que pueden ser fatales para la maquinaria.

2.4.1.-Agua

Con el Fuel-Oil pueden aparecer trazas de agua, tanto dulce como salada. Suele ser el contaminante más común que aparece con el Fuel-Oil. Este se puede eliminar mediante correctos procesos de decantación en tanques del mismo nombre y posteriormente un eficiente centrifugado en separadoras de combustible.

Los efectos que puede ocasionar el agua dentro del combustible son perjudiciales, tanto para el sistema de combustible como para los elementos del motor. La presencia de agua perturba la eficiencia de la combustión y la circulación del combustible. Esta deficiencia en la combustión aumenta la carga calorífica en la cámara de combustión.

Si el combustible tiene trazas de agua salada, esta puede ocasionar la aparición de incrustaciones en tubos y conductos de combustible, obstruyendo y rompiendo su estructura. La corrosión del agua salada es un elemento muy dañino en un buque y en bombas y válvulas puede ocasionar fugas y mal funcionamiento.

2.4.2.-Azufre

Elemento no metálico que encontramos junto con el combustible en forma de compuesto orgánico. Al ser una sustancia del propio combustible, este influye directamente sobre el combustible, reduciendo su poder calorífico. El valor medio de azufre en un combustible suele ser entre un 3 y un 3,5% de su peso. Actualmente y debido a las políticas de

reducción de la contaminación, el valor de azufre se está reduciendo de forma drástica, siendo un elemento indeseado en su composición y combustión.

Pero la reducción de la cantidad de azufre en el combustible también debe controlarse, ya que un combustible con un porcentaje inferior al 0,5% puede ocasionar una elevada alcalinidad. El riesgo de tener un alto grado de azufre en el combustible radica en la posibilidad de tener corrosión a baja temperatura, aproximadamente por debajo de los 200°C, durante la combustión. El azufre reacciona con el oxígeno provocando la aparición de óxido de azufre. Este óxido de azufre por sí solo no es dañino para la máquina, ni para el circuito de combustible, pero si añadimos que podemos tener un poco de humedad a causa de la baja temperatura, aparece el riesgo de formarse ácido sulfúrico que es muy corrosivo para el motor. Esta corrosión puede afectar y acelerar el desgaste de las camisas y aros del pistón. Otro problema de contaminación es que puede llegar a causar lluvia ácida si se expulsa a elevada temperatura por la chimenea. Por este motivo, se está estudiando la manera de reducir la cantidad de azufre en el combustible a valores muy bajos.

2.4.3.-Nitrógeno

Elemento presente en el aire de aspiración necesario para llevar a cabo el proceso de combustión. En una unidad de masa de aire atmosférico seco tenemos 77 partes de nitrógeno y 22 partes de oxígeno. En volumen hay un 79% de nitrógeno. El problema del nitrógeno, es que durante la combustión los radicales de nitrógeno se combinan con el oxígeno de la combustión. Si junto con la reacción tenemos alta temperatura como en los motores alternativos, se forman óxidos de nitrógeno NO_x. Estos óxidos

contribuyen con los óxidos de azufre a la lluvia ácida y a la formación del fenómeno conocido como "smog" dando lugar al fenómeno más importante y cabal de batalla de la contaminación como es el efecto invernadero.

2.4.4.-Vanadio y Sodio

Elementos que se encuentran en gran medida en las cenizas resultantes de la combustión. El vanadio ya está presente en el combustible después de obtenerse de la refinería y al ser soluble con el Fuel-Oil, no podemos eliminarlo. Por otro lado, el sodio puede proceder del mismo combustible, como de la contaminación del agua salada. Por lo tanto, la contaminación de agua afecta a la aparición de sodio en el combustible. El sodio es soluble en agua y tiende a relacionarse y combinarse con el agua del combustible. Este elemento es posible reducirlo sensiblemente.

El problema del vanadio, además de no poderse eliminar del combustible, es que se oxida durante la combustión formando partículas corrosivas en estado líquido. Hay que intentar usar combustibles con poco contenido en vanadio para reducir la corrosión posible que pueda aparecer. En el caso del sodio, sus sales además de ensuciar las válvulas de escape y los turbocompresores, en combinación con el sulfuro del Fuel-Oil, forma sulfato sódico formando residuo altamente corrosivo a alta temperatura. Tanto para el Vanadio como para el Sodio, se necesitan temperaturas altas aproximadamente de 500°C. Por lo tanto, ya vemos que contaminación y componentes como el agua o el azufre se combinan con otros contaminantes como el vanadio y el sodio formando problemas altamente negativos.

2.4.5.-Partículas catalíticas

El refinado es un proceso para obtener derivados del petróleo, y una gran cantidad de combustibles, pero durante los procesos también se utilizan elementos que pueden afectar a la estructura del combustible de forma negativa. Las partículas catalíticas son uno de esos elementos, que se utilizan procesos secundarios de refinado del crudo. Se utilizan para acelerar el fraccionamiento de los componentes más ligeros, por lo que pueden encontrarse en el Fuel-Oil, y Diesel-Oil. Estas partículas forman óxidos de aluminio y silicio que son altamente abrasivos pudiendo causar daños en bombas e inyectores.

Al ser de estructura sólida e insoluble se pueden eliminar del combustible mediante procesos filtrantes y de centrifugado antes de su entrada al motor.

2.5.-Aditivos de combustibles

Son una sustancia química agregada a un producto para mejorar sus prestaciones. En el caso de los combustibles, tradicionalmente han sido usados como una herramienta en pequeñas cantidades durante su elaboración para cambiar ciertas características y así mejorar sus propiedades. Los aditivos se pueden clasificar por:

- **Aditivos oxigenadores**, son compuestos químicos que contienen oxígeno en su estructura química. Se emplean normalmente como aditivos de la gasolina para reducir el monóxido de carbono que se genera durante la combustión. Estos aditivos mejoran la combustión del combustible, evitando humos, hidrocarburo no quemado y restos de

carbonilla. Además mejoran el consumo del combustible reduciéndolo. Los aditivos más utilizados de la familia de los oxigenados, se divide en alcoholes y éteres:

- **Alcoholes**, como el Metanol, Etanol, Alcohol isopropílico, n-butanol y t-butanol.
- **Éteres**, como el Metil terc-butil éter (MTBE), Terciario amil metil éter (TAME), Hexil éter metílico terciario, Etil terciario butil éter, Amil terciario éter etílico, Diisopropil éter.

En el caso del MTBE, se han encontrado casos de contaminación de aguas subterráneas debió al almacenamiento de gasolina cerca de estas reservas de agua. En 2004, fue prohibido en algunos estados de Estados Unidos y fue sustituyéndose poco a poco por un compuesto similar como el etanol. En el caso del TAME, su empleo abarca tres razones como es aumentar el octanaje del combustible, reemplazar los compuestos de plomo como aditivo y para oxigenar el combustible

- **Aditivos antioxidantes**, son compuestos importantes que se incluyen en la gasolina para prevenir la formación de gomas que puedan interferir posteriormente con el funcionamiento de los motores de combustión interna reduciendo su rendimiento. La oxidación de hidrocarburos tiene a formar sedimentos, que pueden obturar los medios filtrantes del sistema y la distribución de combustible. La oxidación de

hidrocarburos puede manifestar un aumento del color.

Dentro de estos aditivos podemos encontrar:

- ***Butilhidroxitoluen***, en la industria del petróleo se conoce mas como el aditivo Antioxidante-29, distribuyéndose con una pureza del 99,8%. También se puede encontrar en uso en fluidos hidráulicos, turbinas, engranajes como aceite y en reactores.
- ***2,4-dimetil-6-terc-butilfenol***, se utiliza para evitar el engomado y formación de sedimentos en los combustibles, además de funcionar como estabilizador de la luz ultravioleta.
- ***2,6-di-terc-butil-fenol***.
- ***p-fenilendiamina***.
- ***Etilendiamina***.
- ***Aditivos antidetonantes***, compuesto que sirve para reducir el golpeteo del motor y aumentar el octanaje del combustible. En la gasolina, cuando se utilizaba a compresiones altas en los motores de combustión interna, se vio que tenia tendencia a una pre-ignición causando un golpeteo. A través de las primeras investigaciones llevadas a cabo en estados unidos, se vio que a través del plomo se podía combatir este golpeteo. Con la utilización de plomo en los aditivos a partir de 1920 permitió eliminar este problema. Durante su primer funcionamiento el tetraetilo de plomo fue haciéndose popular, hasta que se descubrió que provocaba daños ambientales y de salud debido al plomo y su incompatibilidad

con los convertidores catalíticos. Dentro de los aditivos antidetonantes destacan:

- ***Tetraetilo de plomo***, después de ver su efecto contaminante e incompatibilidad con ciertos elementos de los motores, empezó a eliminarse de los combustibles.
- ***Tricarbonil metilciclopentadienil manganeso***, fue utilizado más adelante en la gasolina sin plomo, una vez empezó a desaparecer con la prohibición del Tetraetilo de plomo. Tras la aplicación de la Ley de Aire Limpio (Estados Unidos) en 1970, se siguió utilizando.
- ***Ferroceno***, agente más seguro que el Tetraetilo de plomo. Actualmente en el Reino Unido se puede conseguir una solución con este aditivo para añadir a la gasolina sin plomo y que esta pueda ser utilizada en coches antiguos que fueron diseñados para funcionar con gasolina con plomo.
- ***Pentacarbonilo de hierro***, utilizado en Europa como agente antidetonante para sustituir al Tetraetilo de plomo.
- ***Tolueno***.
- ***Isooctano***, se produce a gran escala en la destilación del petróleo.
- ***Triptano***, utilizado en los combustibles de aviación.
- ***Aditivos colorantes***, son colorantes añadidos a los diferentes combustibles. Algunos países por ley requieren que los

combustibles estén teñidos para evitar el uso de combustibles con un impuesto menor, en aplicaciones que requieren de uno con impuestos mayores. Estos colorantes deben ser solubles en combustible. Es mejor mezclar un tinte líquido con el combustible, que no un tinte en formato polvo. Muy pocas refinerías de todo el mundo siguen utilizando colorantes en polvo. Aunque el coste es menor, se producen problemas de manipulación y cuestiones de salud y seguridad. En 2002, la Unión Europea obligo a los países integrantes a añadir Sovent Yellow 124 a todo combustible diesel para motores. Por lo tanto, cada país tiene un tinte que puede o no ser diferente entre ellos. Este aditivo permite tener un control del combustible utilizado para cada aplicación, ya sea combustible de calefacción, como de aplicación agrícola.

- **Aditivos detergentes**, mejoran la pulverización de la gasolina, la mezcla y el contacto con el oxígeno del aire.

Todos los tipos de aditivos expuestos, si es necesaria su incorporación, se debe conocer la concentración necesaria para cada tipo de combustible para que durante las etapas de almacenaje, transporte y distribución no sufra cambios en su estructura que puedan dejar el combustible inutilizable y no apto para su consumo.

2.6.-Calidad del Fuel-Oil

A la hora de determinar la calidad de un combustible ya sea pesado, intermedio o ligero, habrá que prestar atención a todas las características anteriormente descritas para hacer una valoración lo más exacta posible sobre sus ventajas y desventajas. A la hora de comercializarse, los combustibles se designan de acuerdo a su viscosidad, por lo tanto, esta propiedad está ligada estrechamente con lo que se denomina la calidad del combustible en general. Aunque a la hora de su combustión y utilización entran en juego una gran variedad de parámetros como hemos visto. Esta calidad vista desde el punto de vista de la viscosidad puede modificarse con la adición de gasoil al combustible pesado para reducir la viscosidad. La problemática que hay que tener en cuenta es que no se produzca ninguna inestabilidad para uso posterior.

Los combustibles, es preferible que contengan pocas impurezas o contaminantes como cenizas, vanadio, azufre y sodio, para al fin evitar el excesivo desgaste que puede producirse en los elementos del motor y corrosión a altas temperaturas. Para delimitar los valores de impurezas y otras propiedades, la British Standar Institute publicó en 1982 unas especificaciones donde por primera vez se categorizaban todos los parámetros de combustibles de origen residual en una tabla con sus valores máximos.

Los combustibles de la clasificación se dividen en diferentes categorías según su viscosidad para poder relacionar sus características físicas y químicas. En la primera categorización no aparecen parámetros que a día de hoy son de gran importancia para su almacenamiento y manejo del

combustible y se debía que no existían métodos de ensayo para poder cuantificar dichos parámetros.

No solo la British Standard Institute publico normas que expresaban la calidad del combustible, también el Consejo Internacional de Maquinas de Combustión y la Organización Internacional publicaron en 1982 sus propias normas sobre la calidad de los combustibles, empleando la misma combinación de letras y números en los parámetros.

Posteriormente y con el paso de los años y descubrimiento de nuevas técnicas para mejorar los parámetros de los combustibles reduciendo sus impurezas y eliminando problemas, las normas se fueron revisando y modificando de acuerdo a los avances en el campo.

Para el Fuel-Oil marino, en la ISO 8217:2005 categoriza diferentes grados de fuel-oil residual y de fuel-oil destilado.

Las modificaciones son respuestas a emisiones de elementos dañinos para el medio ambiente como es el caso de dióxido de azufre, es por ello que con el paso de los años y la modificación de los limites, se van reduciendo estas emisiones y la cantidad de azufre en el combustible a la hora de su combustión. Actualmente el contenido de azufre en los combustibles a la hora de la combustión en buques debe ser inferior a 0,1%.

MARINE DISTILLATE FUELS

Parameter	Unit	Limit	DMX	DMA	DMZ	DMB
Viscosity at 40°C	mm ² /s	Max	5.500	6.000	6.000	11.00
Viscosity at 40°C	mm ² /s	Min	1.400	2.000	3.000	2.000
Micro Carbon Residue at 10% Residue	% m/m	Max	0.30	0.30	0.30	-
Density at 15°C	kg/m ³	Max	-	890.0	890.0	900.0
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	-	-	-	0.30
Sulphur ^a	% m/m	Max	1.00	1.50	1.50	2.00
Water	% V/V	Max	-	-	-	0.30 ^b
Total sediment by hot filtration	% m/m	Max	-	-	-	0.10 ^b
Ash	% m/m	Max	0.010	0.010	0.010	0.010
Flash point	°C	Min	43.0	60.0	60.0	60.0
Pour point, Summer	°C	Max	-	0	0	6
Pour point, Winter	°C	Max	-	-6	-6	0
Cloud point	°C	Max	-16	-	-	-
Calculated Cetane Index		Min	45	40	40	35
Acid Number	mgKOH/g	Max	0.5	0.5	0.5	0.5
Oxidation stability	g/m ³	Max	25	25	25	25 ^c
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4 at 60°C ^d)	um	Max	520	520	520	520 ^c
Hydrogen sulphide ^e	mg/kg	Max	2.00	2.00	2.00	2.00
Appearance			Clear & Bright ^f			^{b, c}
^a	A sulphur limit of 1.00% m/m applies in the Emission Control Areas designated by the International Maritime Organization. As there may be local variations, the purchaser shall define the maximum sulphur content according to the relevant statutory requirements, notwithstanding the limits given in this table.					
^b	If the sample is not clear and bright, total sediment by hot filtration and water test shall be required.					
^c	Oxidation stability and lubricity tests are not applicable if the sample is not clear and bright.					
^d	Applicable if sulphur is less than 0.050% m/m.					
^e	Effective only from 1 July 2012.					
^f	If the sample is dyed and not transparent, water test shall be required. The water content shall not exceed 200 mg/kg (0.02% m/m).					

Tabla 7: Valores máximos de combustibles marinos destilados.

En la tabla superior hay expuestos los valores de los combustibles marinos destilados donde podemos encontrar en DMA o diesel marino. Es el combustible destinado a realizar operaciones de arranque y de respuesta rápida en detrimento del combustible pesado, donde su puesta a punto requiere de un tiempo mayor.

MARINE RESIDUAL FUELS

Parameter	Unit	Limit	RMA ^a	RMB	RMD	RME	RMG				RMK		
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Viscosity at 50°C	mm ² /s	Max	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0
Density at 15°C	kg/m ³	Max	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0				1010.0		
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00		
Aluminium + Silicon	mg/kg	Max	25	40		50	60						
Sodium	mg/kg	Max	50	100		50	100						
Ash	% m/m	Max	0.040	0.070			0.100				0.150		
Vanadium	mg/kg	Max	50	150			350				450		
CCAI	-	Max	850	860			870						
Water	% V/V	Max	0.30	0.50									
Pour point (upper) ^b , Summer	°C	Max	6		30								
Pour point (upper) ^b , Winter	°C	Max	0		30								
Flash point	°C	Min	60.0										
Sulphur ^c	% m/m	Max	Statutory requirements										
Total Sediment, aged	% m/m	Max	0.10										
Acid Number ^e	mgKOH/g	Max	2.5										
Used lubricating oils (ULO):			The fuel shall be free from ULO, and shall be considered to contain ULO when either one of the following conditions is met:										
Calcium and Zinc; or Calcium and Phosphorus	mg/kg	-	Calcium > 30 and zinc >15; or Calcium > 30 and phosphorus > 15.										
Hydrogen sulphide ^d	mg/kg	Max	2.00										
^a	This residual marine fuel grade is formerly DMC distillate under ISO 8217:2005.												
^b	Purchasers shall ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially in cold climates.												
^c	The purchaser shall define the maximum sulphur content according to the relevant statutory requirements.												
^d	Effective only from 1 July 2012.												
^e	Strong acids are not acceptable, even at levels not detectable by the standard test methods for SAN. As acid numbers below the values stated in the table do not guarantee that the fuels are free from problems associated with the presence of acidic compounds, it is the responsibility of the supplier and the purchaser to agree upon an acceptable acid number.												

Tabla 8: Valores máximos de combustibles residuales marinos.

El fuel residual, al consistir en residuos viscosos de refinería mezclados con productos destilados después de sus respectivas etapas para conseguir viscosidades intermedias, podemos obtener diferentes combustibles a partir de su diferencia de viscosidad.

- **Bunker C**, es el combustible utilizado en los buques que quemen Fuel-Oil y de mayor viscosidad.
- **Intermediate**, es una mezcla residual y de destilación. Viscosidad menor.

- **Light Fuel-Oil**, es más caro que el Bunker C pero compensa con un manejo más fácil a la hora de bombear el combustible por su menor viscosidad. El precalentamiento del combustible es menor.

El aditivo de productos destilados para rebajar el grado de viscosidad debe realizarse con el conocimiento apropiado para no crear una inestabilidad y una incompatibilidad en el combustible y que este ya no sea apto para su quema y utilización.

Cuanta mejor calidad tenga el combustible, menor serán los procedimientos necesarios para eliminar las impurezas y preparar el combustible para su utilización. Por lo tanto, la utilización de combustible con una viscosidad muy elevada, debe ser pre-calentado a temperatura para conseguir una viscosidad correcta para su bombeo por los diferentes elementos del circuito de combustible. Además, la aparición de otras impurezas como agua o cenizas provocan que el combustible pase por procedimientos de limpieza. En el caso de las cenizas proceso de refinado, mientras que en el caso de agua, habrá que centrifugar el combustible y dejarlo almacenado en un tanque de decantación donde por densidad el agua ira a la parte más baja del tanque para ser extraído a través de una válvula de purga enviándola al tanque de lodos.

II. ESTUDIO

3.-Remolcador Willy T

Es el primer buque de los dos que conforma el estudio del proyecto. Se trata de una embarcación de dimensiones pequeñas comparada con otros mercantes, que lleva a cabo funciones específicas de soporte sobre otros buques de mayor dimensión o que requieren de los servicios del remolcador. Su principal función es la de remolcar a otro buque que no puede realizar la operación de maniobra por su propia cuenta o porque debido a un problema en su sistema propulsivo y de maniobra no pueda valerse por sí misma para maniobrar. Debido a la gran variedad de remolcadores, esta operación, se puede desarrollar en alta mar, ríos, canales o en puertos como es el caso del remolcador Willy T.



Imagen 6: *Remolcador Willy T.*

Este remolcador opera en el puerto de Barcelona junto con los remolcadores de similar disposición como son el Ramón Casas y el Salvador Dalí. Estos tres remolcadores forman los remolcadores de la

empresa Reyser y que junto con Rebarsa, operan en el puerto de la ciudad catalana. Se denominan remolcadores de altura, pero con la realización de sus funciones, se consideran en su totalidad portuarios.

En su sistema de propulsión, utiliza un sistema acimutal asimétrico, a través del cual puede obtener una gran maniobrabilidad con giros de 360º en ambos sentidos pudiendo reaccionar de forma rápida en cualquier tipo de emergencia o servicio a prestar. Las maniobras de atraque y desatraque también se ven facilitadas debido al sistema de maniobra mencionado.

Además de las tareas de remolque que llevan a cabo en el puerto, también prestan servicio de asistencia en tareas de extinción de incendios en buques o instalaciones portuarias contando con un equipo muy amplio de actuación. Junto con los elementos contra incendios, también colaboran en tareas de lucha contra la contaminación en el mar sobre hidrocarburos y otros contaminantes.

3.1.-Datos

Las **características constructivas** del buque son:

Nombre del buque	WILLY T
Tipo de buque	Remolcador
Año de construcción	2008
Armador	Bansalease, S.A.
Astillero de construcción	Zamakona pasaia, S.L.
Número de construcción	C-653
Puerto de registro	Barcelona
Número de matrícula	1ª BA-2-1-08
Número IMO	9521186
Señal de llamada	ECOT

Número de identificación del servicio móvil marítima	225.394.000
NIB	349119
Sociedad de clasificación	Lloyd's Register of Shipping
Bandera	Española
Arqueo bruto	327,88 GT
Arqueo neto	98,36 NT
Eslora total	27,5 m
Eslora de flotación	26,8 m
Eslora entre perpendiculares	26,4 m
Manga máxima	15,25 m
Manga con cintón	15,29 m
Manga con defensas	16,1 m
Calado máximo	5,2 m
Calado medio	3,3 m
Puntal	3,3 m
Francobordo de verano	1,4 m
Calado de verano	1,8 m
Desplazamiento en rosca	442,6 t
Tripulación	De 3 a 6 personas
Velocidad	12 nudos
Fuerza de tiro	71,5 t

Tabla 9: Características constructivas Willy T.

Las **características del sistema de propulsión** son:

Motor principal	MTU
Modelo	16V 4000M 40-90
Potencia	2 x 2000 kW
Velocidad de giro	1800 rpm
Consumo a 1800 rpm	400 l/h
Peso motor	8610 kg
Hélices	Shottel
Modelo	2 x SRP 1515 FP

Diámetro de la hélice	2600 mm
Tipo de hélice	Palas fijas
Numero de palas	5
Peso propulsor sin aceite	25 t
Capacidad de aceite	2,8 m ³
Embrague	TWIN DISC
Modelo	3000-7-HD
Capacidad de aceite	0,3 m ³

Tabla 10: Características del sistema de propulsión Willy T.

Las **características de la generación de energía** son:

Generadores	Guascor
Modelo	H66T-SG
Potencia motor	166 kW
Alternador	Leroy Somer
Potencia alternador	122 kW
Frecuencia	50 Hz
Velocidad de giro	1500 rpm

Tabla 11: Características de la generación de energía Willy T.

La **capacidad de los tanques** es:

Combustible	68,56 m ³
Agua dulce	4,74 m ³
Lastre	18,71 m ³
Aceite lubricante	5,05 m ³
Aceite hidráulico	1,90 m ³
Espuma	4,92 m ³
Séptico	3,34 m ³
Aceite recuperado	1,11 m ³

Tabla 12: Capacidad de los tanques Willy T.

3.2.-Descripción general

El remolcador Willy T está provisto de una cubierta principal desde la cual tenemos acceso a diferentes elementos como es la maquinilla de cubierta para el tiro del cabo de remolque, la escotilla a la maquinilla de fondeo, acceso a los diferentes tanques a través de tapones de sonda del buque y a las tomas de contraincendios dispuestas a los laterales de la superestructura del buque. Por el exterior de la habilitación hay dispuestas escaleras verticales para acceder de forma rápida a bote de rescate, cañones contra incendios, balsas salvavidas y el puente.

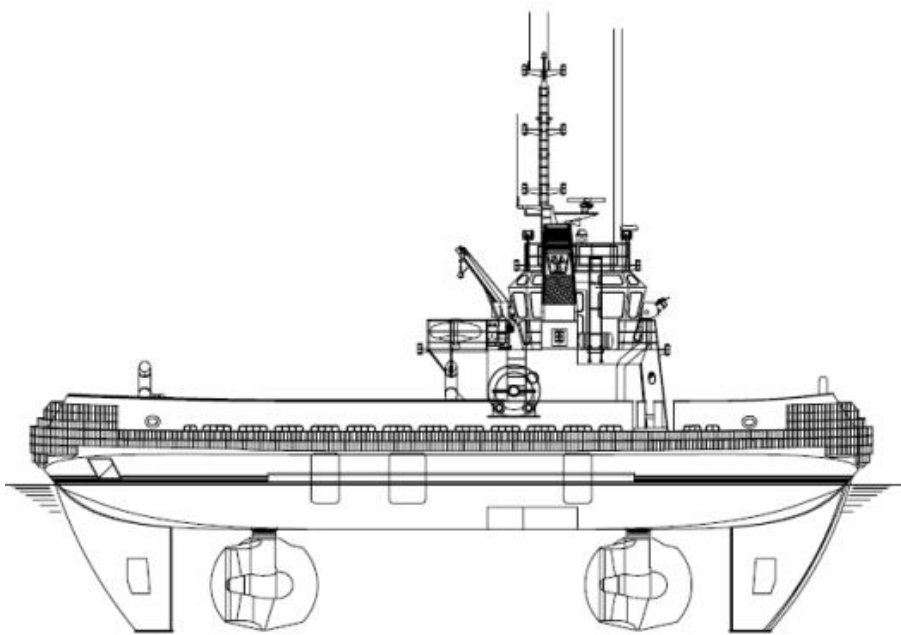


Imagen 7: Perfil general remolcador Willy T.

Esta superestructura se sitúa más cerca de proa que de popa y se expande verticalmente. Contiene todo lo necesario para poder llevar a cabo las guardias pertinentes de 24 horas por parte de la tripulación. El acceso a la habilitación se realiza a través de la cubierta principal, como también se puede acceder a diferentes paños de cubierta donde se almacenan materiales de mantenimiento y equipos de seguridad.



Imagen 8: *Cubierta principal, zona de tiro.*

En la imagen superior vemos los dos anclajes de la maquinilla de tiro del remolcador por donde pasa el cabo de remolque. Es una cubierta amplia, libre de obstáculos, en la cual se puede desarrollar la actividad sin elementos que entorpezcan la misma. En la vista, al lado de de la maquinilla y por la parte exterior de la superestructura hay dos puertas estancas que dan acceso a pañoles de cubierta antes comentados. Por detrás de la maquinilla tenemos acceso a la habitación y la sala de máquinas.



Imagen 9: *Costado libre de babor de la cubierta principal.*

La forma de la cubierta principal es en forma ovalada y a su alrededor dispone de tuberías contra incendios para dar servicio de agua a las diferentes tomas y cañones situados en toda su estructura.

El remolcador está provisto de un comedor, una cocina, dos cuartos de baño y habitaciones suficientes para el descanso de la tripulación durante la jornada de trabajo. Para acceder al puente lo podemos hacer por el exterior, por escaleras verticales dispuestas en un lateral, o por el interior de la habitación mediante una escalera dispuesta diagonalmente y de forma ascendente.

En el puente encontramos un espacio relativamente pequeño, en el que se disponen de todos los sistemas necesarios para gobernar la embarcación, sistemas informáticos para ver el estado de la máquina durante las tareas de remolque o aquellas que requieran de maquinaria en funcionamiento y los sistemas de comunicación de radio, muy necesarias para obtener las órdenes precisas del práctico de puerto en las tareas de atraque y desatraque.

A partir de la cubierta principal, también podemos acceder a la sala de máquinas del buque a través de una escalera descendente. La sala de máquinas contiene tanto los elementos propulsivos, como los elementos generadores y los sistemas auxiliares del buque. La disposición de la cámara de máquinas es prácticamente simétrica, separada por su mitad por un mamparo no estanco y con aperturas para el paso del maquinista. Cada costado tiene su motor principal, embrague y propulsor. Además, también cuenta con la presencia de un motor auxiliar y sistemas auxiliares como pueda ser la planta séptica, tanques de aceite hidráulico o bombas varias como la del tanque de lodos o de agua dulce.

Por la parte de popa, disponemos de una salida de emergencia de la maquina a través de una escalera vertical por donde accederemos a la cubierta principal en caso de problema en la maquina y que no podamos utilizar la escalera de acceso cerca de la habitación.



Imagen 10: *Willy-T durante una operación de desatraque.*

En la imagen superior, localizamos la escotilla de salida de emergencia en la popa. Durante las operaciones, la escotilla deberá estar perfectamente estanca, mientras que en puerto se suele tener abierta para ventilar la sala de máquinas y como acceso de salida.

Los motores principales se arrancaran, cada vez que se tenga que realizar una salida, desde la sala de máquinas, y una vez ya estén arrancados y sin ningún problema, se debe seguir la operación desde el puente del remolcador, desde donde el departamento de máquinas tendrá conocimiento de los parámetros de la máquina y cualquier problema que se produzca.

3.3.-Sistema de combustible

Al ser un buque de dimensiones reducidas, los sistemas quedan reducidos en gran medida. Si lo comparamos con buques de mayor eslora y con más equipos que dependen del combustible, podemos encontrarnos entre cinco y siete sistemas en los que influye la circulación de combustible. En el caso del remolcador Willy T, solo disponemos de un circuito en el sistema de combustible, en el se establecen todas las tuberías que lo conforman así como todos los equipos que intervienen en el trasiego del mismo, el almacenado, el depurado y la alimentación del mismo en las diferentes máquinas que requieran consumo. Este combustible es diesel-oil y es transportado al muelle del remolcador en un camión cisterna.



Imagen 11: Tomas de combustible Willy-T.

El circuito inicia su camino a través de la conexión de tierra. Si suponemos que el buque no tiene combustible a bordo, primero deberemos llenar los tanques pertinentes de almacenado. Por lo tanto, el combustible empieza a circular por la conexión de tierra. Debido a las características del buque, solo consume diesel-oil. En la conexión de tierra se dispone de una bandeja de rebose por si se produce alguna perdida por la conexión, de

esta forma se recoge y no se produce derrame alguno sobre la cubierta del remolcador y agua del puerto. Esta tubería, sirve tanto para el llenado, como para la descarga de combustible del circuito.

Una vez el combustible fluye por la tubería, va encontrándose con diferentes ramales. Una primera ramificación se desvía hacia un cuello de cisne para permitir el rebose de los tanque almacén a través de la línea, si se produce un descuido durante el proceso de hacer combustible. Es importante que una vez se empieza la operación de llenado, se tenga atención a los dos puntos de rebose localizados sobre la cubierta principal. El combustible seguirá la misma tubería pasando por un indicador de presión que nos dirá si el llenado se está produciendo correctamente y a través de filtros donde retendrá posibles elementos no aptos para su almacenamiento en el tanque almacén y que más adelante podrían obstruir las válvulas y tuberías, este filtro se pueden evitar a través de una línea de by-pass. En los filtros como en la conexión se encuentra dispuesta otra bandeja de recogida para posibles fugas de la línea.

Cuando el combustible ha pasado este primer filtro, se divide en dos líneas que van a su respectivo tanque almacén. Uno se sitúa a estribor-popa de la sala de máquinas y otro a babor-proa. De esta forma permitiremos que los tanques almacén se llenen antes de permitir entrar combustible en dirección a los elementos de la sala de máquinas.

Una vez llenos los tanques, se puede desconectar la manguera de la conexión de tierra y cerrar la toma. Antes de quitar la manguera de la conexión se realizara un sondeo de los tanques almacén para conocer el volumen suministrado. De los tanques almacén, se extrae combustible a través de una aspiración hacia una línea de tres posibles ramificaciones

dependiendo de la acción a realizar. Por un lado, tenemos la bomba de trasiego de combustible, por otra ramificación la bomba aleatoria manual y por último, el combustible puede ir a la depuradora de combustible.

A través de la bomba de trasiego y la bomba aleatoria manual podemos llevar el combustible a los tanques de servicio diario o a compensar los tanques almacén. En el caso de la depuradora, el destino es los tanques de servicio diario. Para poner en funcionamiento la depuradora, se arrancará la misma sin abrir la entrada del combustible, una vez que haya cogido suficientes revoluciones para hacer el sello, se abrirá la entrada de combustible hasta obtener una presión de 1,6 bar.



Imagen 12: *Depuradora diesel-oil Willy-T.*

Una vez tenemos el combustible en los tanques de servicio diario, el combustible puede dirigirse a varios puntos, uno de ellos son los motores auxiliares, otro la bomba de cebado y los pre-filtros de combustible situados antes del motor principal y una tercera salida es volver a la depuradora de combustible para eliminar las impurezas que resten en el

combustible, ya que puede haberse trasegado en primera instancia sin haber pasado por la depuradora desde el tanque almacén.

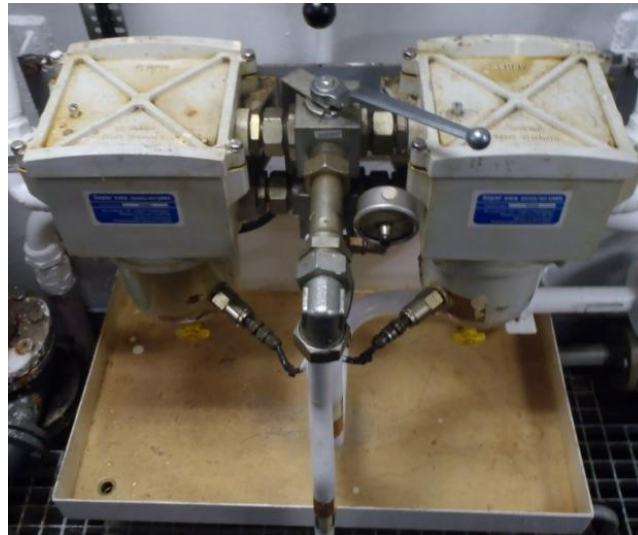


Imagen 13: *Filtros dobles de diesel-oil.*

En el caso de los motores auxiliares, una tubería de ambos tanques de servicio diario se unifica y forma la tubería de aspiración de los motores auxiliares, si hay sobrante, este vuelve hacia los tanques de servicio diario por otra tubería de retorno. Para los motores principales, una vez han pasado el grupo de pre-filtros, el combustible sigue su curso hacia el motor principal y su circuito interno. En todo momento, el combustible está siendo controlado mediante indicadores de presión y temperatura. De la misma forma que en los auxiliares había retorno de sobrante, en los principales se produce lo mismo. Una diferencia, es que a la salida de los principales, el combustible puede pasar por un enfriador, para reducir la temperatura del mismo antes de su entrada en el tanque de servicio diario. Por último, hay una línea unificada de los dos tanques diarios que va a la depuradora de combustible.

El circuito dispone de tanques de rebose junto a los tanques de servicio diario. Cuando estos disponen de combustible por rebose del tanque

diario, este se recupera a través de una línea unida a la bomba e trasiego y bomba aleatoria manual. Los tanques de servicio diario tienen válvulas de purgas que se recogerán en una bandeja y se unirán a los diferentes restos de combustible recogidos por las bandejas del circuito, almacenándose en un colector, para posteriormente introducirse en el tanque de lodos. Dentro del circuito convergen varios modelos de tuberías de acero inoxidable. Estas irán en función del caudal de combustible que pasa por su interior, por lo que los modelos que aparecen quedan reflejados en la siguiente tabla, así como sus dimensiones. El material es el mismo para todos los modelos, siendo de acero inoxidable estirado.

Tuberías acero inoxidable en cámara de máquinas			
Modelo	Dimensiones		Material
	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	
DIN. 100	114,3	6,02	ANSI B 36.10
DIN. 80	88,9	3,05	ANSI B 36.10
DIN. 65	73	3,05	ANSI B 36.10
DIN. 50	60,3	2,77	ANSI B 36.10
DIN. 40	48,3	2,77	ANSI B 36.10
DIN. 32	42,16	2,77	ANSI B 36.10
DIN. 25	33,4	2,77	ANSI B 36.10
DIN. 20	26,7	2,11	ANSI B 36.10
DIN. 15	21,3	2,11	ANSI B 36.10

Tabla 13: *Tuberías circuito combustible Willy T.*

En el apartado de elementos del circuito hay una gran variedad de válvulas, filtros e indicadores. Por último, también se incluyen las maquinas del sistema de combustible, representadas en la siguiente tabla de elementos:

Elementos sistema combustible Willy T		
Referencia	Denominación	Cantidad
C-1	Val. de paso recto con cierre a distancia rápido	2
C-2	Válvula de mariposa tipo wafer	4
C-3	Válvula de compuerta (DIN. 80)	3
C-4	Filtro de paso directo	1
C-5	Válvula de seguridad de paso angular	1
C-6	Válvula de compuerta (DIN. 40)	4
C-7	Válvula de compuerta (DIN. 50)	1
C-8	Filtro simple en Y	1
C-9	Val. de globo de no retorno y cierre angular	1
C-10	Válvula de compuerta (DIN. 25)	2
C-11	Bomba aleatoria manual	1
C-12	Val. de globo de no retorno y cierre de paso recto	3
C-13	Val. de retención recta con disco axial (DIN. 20)	2
C-14	Val. de retención recta con disco axial (DIN. 15)	2
C-15	Válvula de compuerta (DIN. 15)	2
C-16	Val. de retención recta con disco axial (DIN. 40)	2
C-17	Válvula de compuerta (DIN. 40)	3

C-18	Val. de cierre rápido a distancia recta (DIN. 25)	4
C-19	Val. de cierre rápido a distancia recta (DIN. 40)	2
C-20	Grifo de purga con cierre automático	2
C-21	Filtro doble	2
C-22	Válvula de compuerta (DIN. 25)	3
C-24	Válvula de compuerta (DIN. 40)	1
C-26	Válvula de retención recta de disco axial (DIN. 15)	2
C-27	Válvula de compuerta (DIN. 20)	6
C-28	Válvula de retención con clapeta oscilante	1
C-29	Alarma de alto nivel	3
C-30	Alarma de bajo nivel	2
C-31	Nivel con grifo automático	2
C-32	Indicador de nivel remoto	4
C-33	Válvula de compuerta (DIN. 32)	6
C-35	Acoplamiento rápido tipo macho (DIN. 100)	1
C-36	Tapón de acoplamiento rápido (DIN. 100)	1
C-37	Acoplamiento rápido tipo macho (DIN. 50)	1
C-38	Tapón de acoplamiento rápido (DIN. 50)	1
C-39	Válvula de globo de no retorno y cierre rápido	1
C-40	Indicador local de temperatura	6
C-41	Indicador local de presión	7
C-42	Indicador remoto de temperatura	4
C-43	Indicador remoto e presión	3

1	Motor principal	2
2	Motor auxiliar	2
3	Bomba de trasiego de combustible	1
4	Depuradora de combustible	1
5	Enfriador de combustible	2
6	Pre-filtro de combustible	2
7	Bomba de cebado de combustible	2

Tabla 14: *Elementos circuito combustible Willy-T.*

4.-Murillo

El segundo buque de estudio para el proyecto, es el buque Murillo de la empresa ACCIONA Trasmediterránea. Es un Ferry de mayores dimensiones que el remolcador Willy T. De unos 180 metros de eslora, es uno de los buques de mayor dimensión de la compañía desarrollando la función de un Ro-Ro Pax. En su espacio de carga rodada puede llevar hasta 2.000 metros lineales aproximadamente repartiéndose el espacio entre camiones y turismos. Por la parte de pasajeros tiene capacidad para un máximo de 600 pasajeros.



Imagen 14: Buque Murillo.

Su función principal es realizar viajes entre una línea regular o varias líneas a la vez intercalando las líneas entre días de la semana, por lo que son rutas que se conoce muy bien la tripulación, llegando a no variar la misma durante un largo periodo de funcionamiento del buque. Las últimas rutas realizadas han sido en la zona del estrecho y en la zona de las islas baleares. En el caso del estrecho el buque Murillo realizaba trayectos

entre **Almería-Melilla**. Se realizaban dos viajes al día, por lo que sería como una ida y una vuelta. A las 13:00 horas, el buque salía de Melilla con puerto de llegada en Almería, y posteriormente a las 23:30 el buque salía de Almería con puerto de destino Melilla. Cada trayecto era de unas ocho horas aproximadamente y se realizaba todos los días de la semana menos el lunes. Durante este día, se cambiaba uno de los puertos por Málaga, realizando la ruta **Melilla-Málaga**.

Actualmente el buque "Murillo" se encuentra haciendo rutas en el mediterráneo intercalando estas, con otros buques de la misma compañía como el buque "Sorolla" o el buque "Tenacia". Estas rutas son las siguientes:

- **Barcelona-Palma de Mallorca**, salida de Barcelona a las 23:00 horas y salida de Palma de Mallorca con dirección Barcelona a las 12:00 del mediodía del día siguiente. La duración del viaje de unas 7 horas y media aproximadamente.
- **Barcelona-Ibiza**, salida de Barcelona a las 22:15 y salida de Ibiza con dirección Barcelona a las 11:00 de la mañana de día siguiente. Duración del viaje de 8 horas aproximadamente.
- **Barcelona-Mahón**, salida de Barcelona a las 23:00 y salida de Mahón con dirección Barcelona a las 11:00 de la mañana del día siguiente. Duración del viaje de 7 horas aproximadamente.

Estas tres rutas serán intercaladas durante los días de la semana y del mes de diciembre. El buque Murillo en su llegada a puerto necesita práctico para poder realizar las operaciones de atraque y desatraque.

El combustible utilizado por el buque es un fuel pesado. En el caso de emergencia o ciertas maniobras se utiliza en los motores principales un

combustible menos pesado y más ligero. El fuel utilizado es un IFO380, con las siguientes características.

Propiedades	Unidad		Típico	Límite	Ref. del método de prueba
Viscosidad a: 100°C	cSt	máx.	55	55	ISO 3104
Viscosidad a: 50°C	cSt	máx.	730	730	ISO 3104
Viscosidad a: 100°F	Redwood				
	No. 1 sec	máx.	7200	7200	ISO 3104
Densidad a: 15°C	kg/m ³	máx.	991 ¹⁾	991 ¹⁾	ISO 3675 o
	kg/m ³	máx.	1010	1010	ISO 12185
CCAI		máx.	850	870 ²⁾	Fórmula Shell
Agua	% volume	máx.	1.0	1.0	ISO 3733
Azufre	% mass	máx.	20	5.0	ISO 8754
Ceniza	% mass	máx.	0.05	0.20	ISO 6245
Vanadio	mg/kg	máx.	100	600 ³⁾	ISO 14597
Sodio	mg/kg	máx.	50	100 ³⁾	ISO 10478
Aluminio + Silicio	mg/kg	máx.	30	80	ISO 10478
Depósito de carbón Conradson	% mass	máx.	15	22	ISO 10730
Asfaltenos	% mass	máx.	8	14	ASTM D 3279
Punto de inflamación (PMCC)	°C	máx.	60	60	ISO 2719
Punto de fluidez	°C	máx.	30	30	ISO 3016
Total de sedimentos potenciales	% mass	máx.	0.10	0.10	ISO 10307-2

Imagen 15: Características IFO 380.

4.1.-Datos

Las **características constructivas** del buque son:

Nombre del buque	Murillo
Tipo de buque	Roll On Roll Off cargo and passanger Ship
Año de construcción	2002
Armador	Acciona Trasmediterranea, S.A.
Astillero de construcción	IZAR-Sevilla
Número de construcción	C-291
Puerto de registro	Santa Cruz de Tenerife
Material construcción	Acero
Número IMO	9237242
Señal de llamada	EBYF
Número de identificación del servicio móvil marítima	224.963.000
Sociedad de clasificación	Lloyd's Register of Shipping
Bandera	Española
Arqueo bruto	25.028 GT
Arqueo neto	8.058 NT
Eslora total	180 m
Eslora entre perpendiculares	168,7 m
Manga máxima	24,3 m
Puntal cubierta principal	9,6 m
Puntal cubierta superior	15,3 m
Calado de trazado máximo	6,2 m
Calado máximo (quilla incluida)	6,5 m
Peso muerto	6.948 t
Francobordo de verano	1,4 m
Calado de verano	1,8 m
Desplazamiento	16.845 t
Pasajeros	600 personas
Capacidad de carga	2000 m lineales de carga rodada
Velocidad de prueba	22,8 nudos

Botes salvavidas	2 x 150 pasajeros
Balsas salvavidas (MES)	2 x 404 pasajeros
Balsas adicionales	2 x 25 pasajeros

Tabla 15: Características constructivas buque Murillo.

Las **características del sistema de propulsión** son:

Motor principal	Wärtsilä
Modelo	9L38
Potencia	4 x 5940 kW
Nº cilindros	9 en linea
Orden encendido	1-5-9-3-6-8-2-4-7
Velocidad de giro	600 rpm
Diámetro del cilindro	380 mm
Carrera	475 mm
Hélices propulsoras	2 x CP 130 / 4 H
Diámetro de la hélice	4850 mm
Velocidad de giro	138,7 rpm
Material de la pala	Acero Inoxidable
Peso	15.740 kg
Numero de palas	4
Marca hélice proa	Brunvoll Thruster
Modelo	2 x FU-80-LTC-2250
Potencia	2 x 1300 kW
Peso con motor	9.050 kg
Fabricante reductora	Reintjes España
Modelo	DLG – 8890
Peso	43.500 kg
Reducción	4,324 : 1

Tabla 16: Características del sistema de propulsión buque Murillo.

Las **características de la generación de energía** son:

Motor auxiliar	Wärtsilä
Modelo	8L20
Potencia motor	3 x 440 kW
Diámetro cilindro	200 mm
Carrera cilindro	280 mm
Orden de encendido	1-3-7-4-8-6-2-5
Alternador	Leroy Somer
Modelo	LSA53 S7
Tensión	450 V
Potencia alternador	1500 KVA
Frecuencia	60 Hz
Velocidad de giro	900 rpm
Motor emergencia	MAN
Cilindros	12 en "V" a 90°

Tabla 17: Características de la generación de energía buque Murillo.

La **capacidad de los tanques** es:

Combustible Fuel-Oil	707,5 t
Combustible Diesel-Oil	144,1 t
Libres	6.020 m ³
Lastre	3.050 m ³
Lodos	43 m ³
Aceite sucio	53,4 m ³
Aceite limpio	53,4 m ³
Retorno	62 m ³
Anti-escora	418,4 m ³
Aguas grises	71 m ³
Aguas negras	71 m ³
Reboses	41,6 m ³
Sentinas	58,2 m ³

Tabla 18: Capacidad de los tanques del buque Murillo.

4.2.-Descripción general

El buque se encuentra dividido en 10 cubiertas, aunque dos de las diez cubiertas no se llegaron a realizar debió a su altura de carga, por lo que se dejaron las cubiertas 3 y 5 y no la 4 y la 6. Cada cubierta tiene una función y un objetivo dentro del buque, como se indica a continuación:

- **Cubierta 1**, destinada a la colocación de coches y motos. Además en esta cubierta hay diversa maquinaria del buque en la proa y en la sala de máquinas.
- **Cubierta 2**, también destinada a coches y motos. La maquinaria de proa y de la sala de máquinas también se extiende por esta segunda cubierta.
- **Cubierta 3**, destinada para camiones, tráileres, coches, etc. En el caso de los elementos del buque, es una cubierta donde se establecen los pañoles de respeto y otros utensilios.
- **Cubierta 5**, segunda cubierta destinada a la colocación e camiones, tráileres, coches, etc. Tenemos además el resto de los pañoles y acceso a las maquinillas de proa y popa.
- **Cubierta 7**, se compone de los camarotes para el pasaje y la ubicación de la recepción. Es la entrada del pasaje una vez sube a bordo.
- **Cubierta 8**, se tiene acceso a las comodidades del buque como los diferentes espacios lúdicos y de venta a bordo. De los elementos del buque, se encuentra el motor de emergencia, la cocina y la gambuza.

- **Cubierta 9**, se concentra los alojamientos de la tripulación y oficiales, comedores de tripulación y salón de ordenadores, puente y varias oficinas de los diferentes departamentos.
- **Cubierta 10**, más alojamientos de la tripulación, lavandería y helipuerto.

Como hemos visto en la cubierta 1 y 2, la cámara de máquinas se distribuye en ambas cubiertas. En la sala de máquinas encontramos la sala de control, donde se encuentra la consola central de control de la maquinaria de control remoto, además de contener toda la documentación y planos del buque.

Justo al lado, hay una sala con todos los cuadros eléctricos a nivel general, con los acoplamientos de los motores auxiliares. En la misma cámara de máquinas hay varios paños donde se ubica todo el material de respeto y ciertas maquinarias que se encuentran separadas de los motores principales, motores auxiliares u otras maquinarias.

Desde la sala de control, se puede acceder a cubiertas superiores, mediante una puerta de control de acceso. Pasada esta puerta encontramos una escalera de subida a las diferentes cubiertas.

Toda la maquinaria en definitiva se concentra en dos cubiertas de forma parcial ya que lo comparte con espacio de carga.

4.3.-Sistema de combustible

En el buque Murillo, podemos encontrar varios circuitos donde la maquinaria puede ser alimentada por dos combustibles diferentes a través de sus tuberías. Diferenciándose con el remolcador Willy T, cada circuito del Murillo es específico ya sea de alimentación, trasiego o

purificación. El detalle es mayor, debido también a que hay más elementos en el buque, los cuales son necesarios para llevar a cabo la preparación del combustible, su almacenamiento y su alimentación a las diferentes máquinas. Para conocer mejor su estructura se describirá cada uno de ellos recogiendo los elementos que la componen y dando una visión de su disposición y todos los elementos que componen cada uno de los circuitos del sistema de combustible.

4.3.1-Circuito de trasiego de combustible

El circuito inicia su recorrido en las tomas de conexión de tierra situadas sobre cubierta. Una en babor y otra en estribor. En cada costado se sitúan dos tomas, una para fuel-oil y otra para diesel-oil. Cada combustible pasará un filtro inicial y una válvula de compuerta para ya iniciar su descenso hacia los tanques de destino. Si se realizase combustible por ambas tomas de cada costado, el mismo combustible se unificaría en una sola para dirigirse al tanque. Lo normal es que el combustible se realice desde un costado o el otro, por lo que una válvula antirretorno situada en la línea de las tomas de uno de los costados, no permitirá que el combustible llegue a la toma del otro costado. Por lo tanto, tenemos una línea de diesel-oil y otra de fuel-oil. En casi todos los circuitos que veremos habrá que hacer referencia a dos partes, una con el combustible pesado y otra con el combustible más ligero. La línea de combustible fuel, va acoplada a otra línea de vapor para mantener la temperatura correcta de bombeo y flujo.



Imagen 16: Toma combustible cubierta.

En el caso del fuel-oil, una vez se encuentra con la otra línea que viene de la toma del costado contrario a donde se está haciendo combustible, este se dirigirá a los tanques almacén de fuel-oil en primera estancia o también a los otros tres tanques más pequeños que serían de servicio diario y de sedimentación. Lo normal es que primero el combustible llene los tanques almacén para que el combustible pase por la purificadora y así ir a los de servicio diario o decantación. De los tanques almacén hay dos salidas, una de cada tanque, que se unifica para ir hacia un plano de válvulas que comunica con la aspiración de las bombas de trasiego. En el caso de los



tanques pequeños de fuel sale también una única línea hacia el mismo plano de válvulas con la misma intención de ser aspirado por la bomba de trasiego.

Imagen 17: Escotilla tanque de fuel.

A este piano de válvulas, también llega una línea de aspiración del tanque de reboses de combustible. Hay dos bombas de trasiego para realizar el bombeo de combustible. Una de ellas se encargará de bombear el fuel-oil pasando primero, por un pre-filtro de la bomba hacia la descarga a tierra por las líneas de llenado o hacia la compensación de tanques, moviendo el combustible. La otra bomba quedara en espera para funcionar si su operatividad es requerida. El tanque de rebose también se puede llenar a través de las conexiones de tierra por si es necesario utilizarlo como tanque almacén.

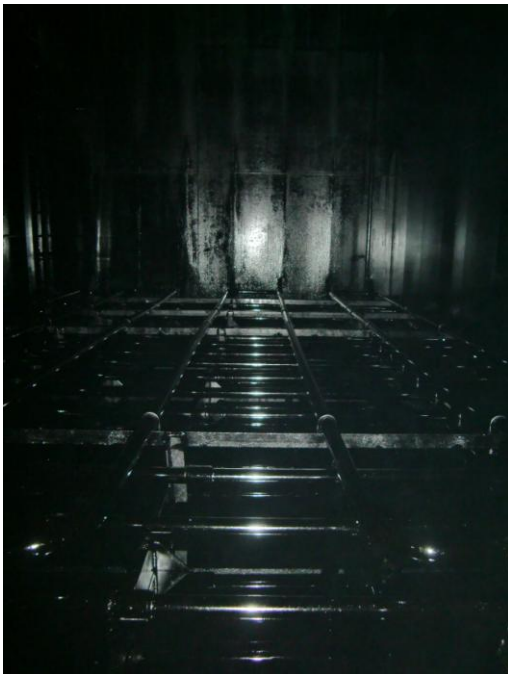


Imagen 18: Interior tanque de fuel.

En los tanques más pequeños de fuel-oil, hay una ramificación a su salida para enviar este combustible a la purificadora.

Por otro lado, el diesel-oil entra por una toma situada al costado de la de fuel-oil, unificándose posteriormente con la del otro costado para ir primero al tanque almacén de diesel-oil. Uno de

los tanques es de almacén y el otro es de servicio diario. Una vez se encuentra el combustible en el tanque, el diesel-oil puede dirigirse hacia la purificadora de combustible diesel, hacia la caldera para alimentar el quemador, o hacia la bomba de trasiego de combustible. A través de la bomba, el combustible diesel puede tomar nuevos destinos como el

tanque de combustible del generador de emergencia o el tanque de combustible del incinerador para alimentar el quemador.

Las dos bombas de trasiego pueden funcionar para ambos combustibles, ya que antes de su aspiración hay una línea que unifica ambas líneas por si una de ellas falla, el combustible que este afectado por el fallo, puede utilizar la otra bomba para llevar a cabo sus operaciones de trasiego entre tanques y movimiento del mismo.

El combustible que va a parar a las bandejas dispuestas bajo las purgas de los tanques y otros elementos va a parar mediante líneas, al tanque de lodos de combustible. Si durante la operación de llenado se quiere llenar el tanque de reboses, o hay un descuido de llenado, antes de que el combustible salga por la misma toma, se abren unas válvulas cerca de donde se unen las ramificaciones de babor y estribor para desviar el combustible al tanque de reboses.

Elementos circuito de trasiego de combustible	
Denominación	Cantidad
Filtro de paso directo	4
Pre-filtro bomba trasiego	2
Indicador de presión	4
Válvula de compuerta	23
Válvula de paso angular	4
Válvula de accionamiento manual	2
Serpentines	5
Indicador de temperatura	5

Indicador de bajo nivel	8
Válvula accionamiento remoto	2
Válvula de purga	5
Válvula antirretorno de paso angular	1
Válvula antirretorno de paso recto	2
Bomba de trasiego de F.O.	1
Bomba de trasiego de D.O.	1

Tabla 19: *Elementos circuito de trasiego de combustible.*

4.3.2-Circuito de purificación de combustible

Como en el anterior circuito de trasiego, el circuito se dividirá para su entendimiento por un lado la parte de fuel-oil y por otro lado, la parte de diesel-oil. No se comunican en ningún momento.

Para la parte de fuel, el circuito empieza en los dos tanques de servicio diario o en el tanque de sedimentación. Los de servicio diario rebosan en el de sedimentación una vez están llenos. En la parte inferior de los tres tanques, sale una línea de aspiración para iniciar el circuito. En el caso de los diarios, esta puede unirse a la línea de los de sedimentación o ir hacia la alimentación del motor principal ya que el combustible está listo para su utilización y purificado. Si la línea de los de servicio diario, se unifica junto con la línea del tanque de sedimentación, el combustible puede dirigirse hacia las bombas de trasiego para compensar tanques como hemos visto en el circuito anterior, o hacia la aspiración de la bomba de purificadoras. Hay dos bombas de aspiración, por lo que una se encontrará en espera de servicio mientras la otra funciona a pleno rendimiento. A

través de la bomba en servicio, el combustible es aspirado por la bomba pasando a priori por su pre-filtro. A la salida de la bomba, el combustible es descargado dirigiéndose hacia un calentador. El combustible puede o no pasar por el calentador, todo dependerá de la temperatura a la cual este. Ya que para poder bombear el combustible pesado, es necesario que este a una temperatura adecuada, parámetro que se consigue colocando una línea de vapor junto a la línea de circulación del combustible y bien aislado del ambiente.

Los tanques dispondrán de serpentines para mantener la temperatura constante y poder bombear el combustible en cualquier momento. Después de pasar o no por el calentador, el combustible llega a una de las purificadoras. Hay dos grupos iguales en la parte de fuel. Si es necesario, la utilización de ambas, el funcionamiento y esquema son iguales, si solo se precisa de una purificadora, la otra quedara en espera para funcionar cuando sea requerida. Antes de llegar a una de las purificadoras, hay una desviación que conecta con una línea de retorno hacia el tanque de sedimentación. Si el combustible sigue su camino sin desviarse, entra en la purificadora y una vez realizada su función, el combustible retorna al tanque de sedimentación o a los de servicio diario para poderse usar en los circuitos de alimentación.



Imagen 19: *Depuradora de combustible buque Murillo.*

De las purificadoras, el agua y los lodos que se generan, van a parar al tanque de lodos. Lo reboses y el combustible purgado también pueden ir al tanque de lodos o al de rebose.

En el caso de la parte de diesel-oil, tenemos dos tanques, uno de almacén de diesel y otro de servicio diario. Entre ambos les une una línea para compensar sus niveles. Del tanque almacén, sale una línea hacia la bomba de la purificadora de diesel-oil pasando previamente por su pre-filtro. Como en el fuel, este puede pasar por un calentador o evadirlo mediante una línea que conecta la entra y la salida del calentador. El combustible después del calentador puede retornar al tanque almacén de diesel-oil o puede seguir la línea que va a la purificadora. Una vez purificado, retorna al tanque de servicio de diario para poder utilizarse en los circuitos de alimentación. El agua y restos que puedan salir de la purificación van al tanque de lodos.

Elementos circuito de purificación de combustible	
Denominación	Cantidad
Válvula antirretorno de paso recto	5
Válvula de accionamiento manual	24
Válvula de paso angular	6
Válvula de compuerta	1
Pre-filtros de paso recto	3
Bombas de las depuradoras de F.O.	2
Indicador de presión	12
Calentador de F.O.	2
Calentador de D.O.	1
Indicador de temperatura	4
Válvula tres vías	3
Purificadoras de F.O.	2
Purificadora de D.O.	1

Tabla 20: *Elementos circuito de purificación de combustible.*

4.3.3-Circuito de alimentación de motores principales

Como en los anteriores circuitos, hay que diferenciar entre la línea de diesel-oil y fuel-oil para la alimentación de los motores principales. Delante del tanque de servicio diario y los motores, se encuentra el modulo booster que se utilizará para el tratamiento del fuel-oil. El módulo tiene la función principal de proporcionar la alimentación de fuel-oil

precisa para las bombas de inyección de combustible en los parámetros de presión y temperatura.

En el caso del fuel-oil, todo da comienzo en los tanques de servicio diario. De los dos sale una tubería que se unifica en un tramo para volver a separarse a la hora de abastecer las unidades preparación del combustible antes de abastecer los motores principales. En ambos grupos de motores la disposición es la misma al ser motores idénticos, siguiendo el siguiente esquema para la línea de fuel-oil.

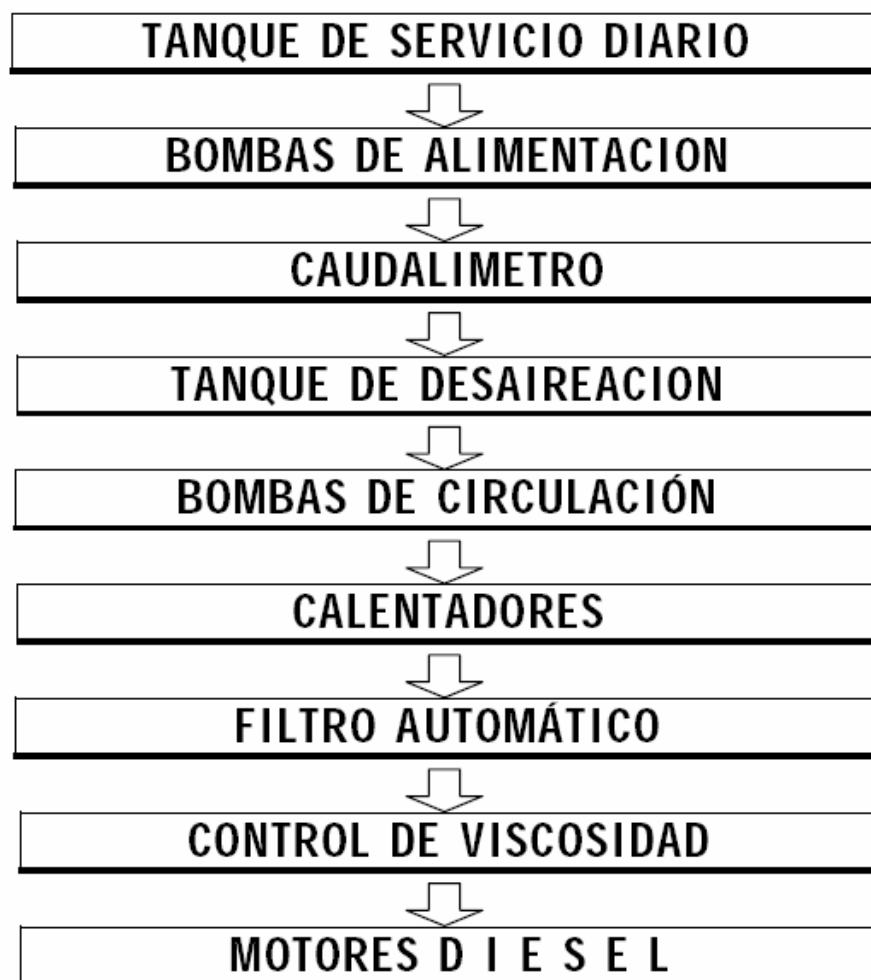


Imagen 20: *Pasos de la alimentación de combustible.*

El combustible entra dentro de la unidad de los equipos de preparación del fuel, para dejar el combustible listo para su combustión en los motores principales. El fuel a su correcta temperatura será aspirado por unas bombas de alimentación, las cuales se pueden evadir mediante una línea paralela de circulación. Una de las bombas estará en funcionamiento mientras la otra está en espera. Tienen instalado un pre-filtro antes de la aspiración. Este combustible impulsado por la bomba pasara por dos filtros secundarios colocados en paralelo, funcionando uno y el otro en espera. A la entrada de los filtros hay una toma de combustible que va a parar a un indicador de presión para tomar una referencia de la presión del combustible en su flujo hacia los motores principales. De uno de los filtros hay una línea que conecta con el tanque de reboses. Después de dejar atrás los dos filtros, el combustible podrá pasar por un caudalímetro o evadirlo.

Si pasa por el caudalímetro obtendremos un valor de la cantidad de combustible que pasa por la línea, que irá a parar a un colector, desde el cual hay diferentes salidas. Una línea va a través de la válvula de purga donde el combustible se recogerá en una bandeja, otra salida es por una válvula de rebose que comunicara con el tanque de reboses, la tercera línea que sale del colector comunicara este con los dos tanques de servicio diario de fuel-oil y por último, la cuarta línea es por la que el combustible fluirá hacia los calentadores de vapor. Estos calentadores tienen en su entrada y salida indicadores de temperatura para controlar en todo momento la temperatura del combustible.



Imagen 21: *Calentador combustible.*

El combustible si no está a temperatura, una vez salga del calentador puede redirigirse hacia la entrada de los calentadores, o hacia la bomba de alimentación pudiendo pasar previamente por un viscosímetro. Cada equipo para la preparación del combustible contiene dos bombas de fuel-oil, por lo que habrá duplicación cada dos motores principales. Estas bombas aspiran combustible que proviene del viscosímetro para enviarlo a la entrada de los motores principales. Antes de su entrada en la admisión del motor, el combustible debe pasar por otro filtro. Una vez superado, el combustible entra en la admisión del motor principal para ser quemado. Del motor se dispondrán de cuatro líneas de salida, dos para drenajes del motor, una para purgas y otra que será el retorno de combustible sobrante de la combustión. Las tres primeras van al tanque de rebose. La de retorno puede volver al tanque de servicio diario, al colector del equipo de pre-tratamiento de la combustión o a la aspiración del motor principal. Todo esto se gestionara a través de una válvula de tres vías. El circuito para los otros dos motores principales es idéntico.

En el caso del diesel-oil, el combustible también inicia su recorrido en el tanque de servicio diario. La línea en este caso no lleva acoplada una línea de vapor, por lo que su disposición en el plano se diferencia por su forma de representación mediante una línea discontinua. La línea del tanque se bifurcará a la hora de abastecer a los cuatro motores principales en grupos de dos, por lo que explicado un grupo, el otro es idéntico. En este caso si el combustible elegido para alimentar los motores es diesel-oil, entrará en el equipo de preparación del combustible directamente a la aspiración de la bomba de circulación, situada antes de la admisión al motor principal. Por lo tanto, con el impulso de la bomba, el combustible solo debe pasar por el último filtro y entrar en la admisión del motor principal. La línea de retorno, drenaje y purga del motor es el mismo que en el fuel-oil. El retorno va directamente al tanque de servicio diario de fuel-oil, no retorna al de diesel-oil, ya que es seguro que habrá mezcla entre ambos combustibles.

Elementos circuito de alimentación de los motores principales	
Denominación	Cantidad
Válvula de accionamiento remoto de paso angular	3
Válvula accionamiento manual paso recto	44
Válvula de compuerta de paso recto	1
Válvula de tres vías	5
Filtros de aspiración bombas F.O.	4
Válvula antirretorno	14
Indicador de presión	16
Indicador de temperatura	12

Caudalímetro	2
Colector de combustible	2
Calentador de vapor	2
Viscosímetro	2
Filtro de vapor de F.O.	2
Filtros aspiración motores principales	4
Filtros secundarios de F.O.	4
Bomba de circulación primaria de F.O.	4
Bomba de circulación secundaria de F.O.	4
Bomba de circulación primaria de D.O.	2
Motor principal	4

Tabla 21: Elementos circuito de alimentación motores principales.

4.3.4-Circuito de alimentación de la caldera



La alimentación de la caldera se realiza a partir de diesel-oil como combustible o fuel-oil. Independientemente del tipo de combustible, ambos harán el mismo recorrido hacia el quemador de la caldera una vez dejen atrás el tanque correspondiente.

Imagen 22: Caldera buque Murillo.

De ambos tanques, por un lado del de sedimentación de fuel y por otro el de

servicio diario de diesel, se unirán en una válvula de tres vías para decidir el combustible a utilizar en el quemador. A partir de esta válvula, el combustible se reparte a la aspiración de dos bombas situadas en paralelo. Una en funcionamiento y otra en espera. Previamente, el combustible pasará por un pre-filtro. Cuando el combustible sea impulsado a la descarga de la bomba, este pasará por varios indicadores de presión y temperatura mediante los cuales se registrarán valores del combustible para ver si se encuentra en los parámetros correctos para su quema en los quemadores.



Imagen 23: *Quemador caldera.*

Después de los indicadores y en la misma línea, el combustible va a parar a un colector. Del colector salen dos líneas, una que va al quemador de la caldera pasando por otro filtro previamente y otra línea que retorna al tanque de sedimentación o al tanque de servicio diario de diesel-oil. El combustible no quemado retorna del quemador al colector y de allí al tanque de sedimentación. Todos los reboses van a parar al tanque de lodos.

Elementos circuito de alimentación de la caldera	
Denominación	Cantidad
Válvula de accionamiento manual	7
Válvula de tres vías	2
Válvula de accionamiento remoto	3
Indicador de temperatura	1
Indicador de presión	7
Bomba de combustible caldera	2
Caldera auxiliar	1
Filtros	3
Colector	1

Tabla 22: *Elementos circuito de alimentación de la caldera.*

4.3.5-Circuito de alimentación del generador de emergencia

De la bomba de trasiego de combustible de diese-oil, llega una línea de combustible para llenar el tanque de diese-oil del motor de emergencia, situado en su local. Este tanque también se puede llenar mediante una conexión de tierra. Del tanque, salen dos líneas, una al tanque de reboses y otra a un grupo de filtros primarios antes de su entrada en el generador de emergencia.



Imagen 24: *Motor de emergencia.*

Si no se usa todo el combustible, este sale del motor por la línea de retorno hacia el tanque nuevamente. Del tanque de diese-oil situado en el local de emergencia del generador, sale una línea de ventilación del mismo tanque hacia el exterior, ventilando gases peligrosos y de sobrepresión.

Elementos circuito de alimentación del generador de emergencia	
Denominación	Cantidad
Válvula de compuerta de paso recto	1
Válvula de purga	1
Válvula de accionamiento remoto de paso angular	1
Válvula de tres vías	2
Válvula de accionamiento manual	2
Colector atmosférico de ventilación	1
Tanque diese-oil del generador de emergencia	1

Indicador de nivel	2
Generador de emergencia	1

Tabla 23: *Elementos circuito de alimentación del motor de emergencia.*

4.3.6-Circuito de alimentación de motores auxiliares

Este circuito como en la alimentación de los motores principales, se inicia en los tanques de combustible. En este caso no hay el de sedimentación en el caso del fuel-oil, pero si los dos de servicio diario. En el caso del diesel-oil está el único de servicio diario. Como siempre la línea de fuel-oil tendrá acoplada una línea de vapor para mantener el combustible apto para su bombeo por las diferentes tuberías.

De los tanques de servicio diario de fuel-oil, salen dos líneas individuales que se unifican para entrar en el grupo de circulación. En el grupo de circulación, este combustible, será aspirado por dos bombas de circulación, pasando previamente por un filtro. De las dos bombas una estará en espera mientras la otra permite la circulación del combustible. Entre las dos bombas hay una línea con un disipador de calor. Cuando el combustible es impulsado por la bomba, la línea sigue su curso hacia el grupo de alimentación de los auxiliares. En este nuevo grupo, el combustible primero pasa por un filtro a la entrada con un caudalímetro. Tanto el filtro como el caudalímetro se podrían evadir por una línea paralela. Después del caudalímetro, el fuel-oil va a parar a un colector, desde el cual salen tres líneas y entra una. Una de las salidas va al tanque de reboses de combustible, otra va a la bandeja de purgas y de allí al tanque de lodos y la tercera salida sigue el curso de combustible hacia las bombas de alimentación. Como en todas las duplicaciones, una de las

bombas está en espera. La bomba en servicio o las dos bombas si se requiere de ambas, impulsaran el combustible hacia dos calentadores de combustible de vapor y de allí a los pre-filtros de admisión de combustible de los auxiliares. Estos se quedaran las últimas partículas del combustible no aptas para los motores auxiliares. Como última parte de la unidad de alimentación, el combustible pasa por un viscosímetro que conectará su lectura y señal con la válvula de paso del vapor de los calentadores. Dependiendo del valor de viscosidad, dará señal de abrir o cerrar más el caudal de vapor y por lo tanto, la regulación de temperatura. El combustible puede evadir el viscosímetro por una línea paralela y entrar directamente al motor auxiliar. Este se reparte entre los motores en funcionamiento. Antes de su admisión, el combustible puede retornar al tanque de fuel-oil.

Si el combustible esta correcto y se permite su admisión en los auxiliares, entrará en la admisión de los motores auxiliares para su utilización. Del auxiliar saldrán tres líneas de combustible, una de purga, otra de fugas y otra de retorno. Las dos primeras irán al tanque de reboses y en la de retorno podemos elegir entre el colector de la unidad de alimentación o los tanques de servicio diario de fuel-oil, todo dependerá de la posición de la válvula de tres vías.

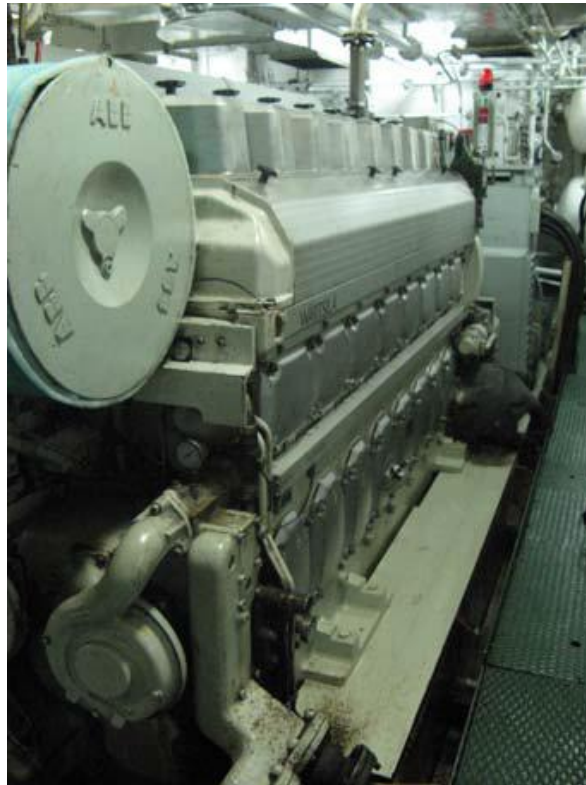


Imagen 25: *Motor auxiliar.*

En el caso del diesel-oil, también sale del tanque de servicio diario hacia la unidad de circulación. El combustible es aspirado por una bomba de diesel-oil. Esta impulsa el combustible hacia unos filtros colocados en paralelo y posteriormente se dirigirá a la aspiración de los auxiliares sin pasar por la unidad de alimentación y tratamiento del combustible. Como en el caso del fuel-oil, puede retornar al tanque antes de su entrada en la admisión de los auxiliares. Una vez en el motor auxiliar, hay tres líneas de salida. Una de fugas, una de purgas y otra de retorno. En la de retorno, a diferencia de los motores principales, el diesel-oil sí puede volver al tanque de servicio diario.

De las bandejas de las unidades de alimentación y circulación, el efluente va al tanque de lodos de combustible.

Elementos circuito de alimentación de los motores auxiliares	
Denominación	Cantidad
Válvula de accionamiento remoto de paso angular	3
Válvula de accionamiento manual de paso recto	46
Válvula de tres vías	6
Válvula antirretorno de paso recto	24
Filtro de D.O.	2
Pre-filtro bomba de F.O.	2
Filtro de F.O.	3
Indicador de presión	5
Indicador de temperatura	8
Indicador de nivel	1
Caudalímetro	1
Colector	1
Bomba circulación de F.O.	2
Bomba circulación de D.O.	1
Bomba alimentación de F.O.	2
Calentadores de vapor de F.O.	2
Viscosímetro	1

Tabla 24: *Elementos circuito de alimentación motores auxiliares.*

4.3.7-Circuito de alimentación del incinerador

Circuito para la alimentación de la incineradora mediante diesel-oil. El incinerador tiene un tanque para él solo, que es llenado de diesel a partir

de la bomba de trasiego del primer circuito comentado. El tanque en su parte inferior tiene una purga que conecta con el tanque de lodos y otra línea que sale hacia el quemador del incinerador. Antes de entrar al quemador, el combustible pasa por un filtro. Si el combustible no es quemado retorna al tanque por la línea de retorno. El tanque tiene una línea de ventilación al exterior como en el tanque del motor de emergencia. El quemador del incinerador se puede alimentar también por los efluentes del tanque de lodos, por lo que también este estará contactado al quemador por diferentes líneas tanto de admisión como de retorno.

Elementos circuito de alimentación del incinerador	
Denominación	Cantidad
Válvula de accionamiento manual de paso recto	4
Válvula de accionamiento remoto de paso angular	1
Indicador de nivel	1
Tanque de D.O. para incinerador	1
Incinerador	1

Tabla 25: *Elementos circuito alimentación de combustible del incinerador.*

III. ELEMENTOS CIRCUITOS DE COMBUSTIBLE

5.-Componentes de los circuitos de combustible

En este punto se describirán de forma general los elementos que aparecen en los diferentes circuitos descritos en los puntos anteriores del remolcador Willy T y del Ro-Ro Pax Murillo. Los elementos que aparecerán a continuación no son todos los que componen la totalidad del mercado. Se realizará un seguimiento de los más usados en los circuitos, y que realizan una acción fundamental en los mismos.

5.1-Válvulas

Una vez se han descrito los dos buques de estudio elegidos, voy a realizar una descripción de los elementos que aparecen en los diferentes circuitos de combustible tanto del remolcador Willy T como del Ro-Ro Pax Murillo. Muchos de estos elementos serán repetidos en los diferentes circuitos, pero todos aportan sus características para que el sistema de combustible y los diferentes elementos funcionen de la mejor forma. Las válvulas de los diferentes circuitos será el punto de partida para dar a conocer los elementos, una descripción de su funcionamiento y las características de estos para conocer mejor la instalación.

Los diferentes tipos de válvulas que podemos encontrar en los dos buques, son dispositivos mecánicos a partir del cual se puede controlar y regular un fluido cuando se requiere que este inicie o pare su curso a través de una tubería de diferente tamaño. Cada tipo de válvula regulará este paso y flujo de líquidos en nuestro caso, mediante sus piezas móviles y accionamientos que permitirá el cierre o paso de forma parcial o total del fluido en cuestión.

En la industria, las válvulas son el instrumento de control más importante ya que nos permiten modular nuestra instalación mediante el accionamiento de estas y dirigir el fluido a donde uno quiera y por donde uno desee. Una característica esencial de las válvulas, es que se pueden encontrar de diversos tamaños y de una gran cantidad de tipos, cada una con sus características, sus aplicaciones y su efecto sobre la instalación.

A la hora de elegir una válvula, hay que tener en cuenta varios parámetros, y encontrar las válvulas que más se ajusten a los parámetros de nuestra instalación. Por lo tanto habrá que tener en cuenta una serie de datos:

- Tipo de válvulas, tamaños, fabricantes y número de modelos de los fabricantes
- Capacidades de presión y temperatura de las válvulas
- Materiales de construcción
- Material para empaquetaduras y juntas
- Material de guarniciones de la válvula, que incluyen el vástago, anillo de asiento y disco
- Servicio recomendado por el fabricante

Teniendo esto en cuenta, voy a realizar a continuación una clasificación de las diferentes válvulas encontradas en los diferentes circuitos tanto del remolcador, como del Buque Murillo para tener una noción de la gran variedad y de sus diferencias a la hora de realizar su cometido.

5.1.1-Válvulas de cierre o bloqueo

Esta primera clasificación de las válvulas, engloba las que se utilizan para aislar equipos, instrumentos y componentes de la misma tubería como filtros, bombas, caudalímetros, viscosímetros, etc.

Además de aislar estos últimos, también pueden utilizarse para desviar el fluido de la instalación a otros lugares que requieran su presencia. Suelen ser del tamaño de la tubería y tiene un orificio adecuado al diámetro interior de la tubería.

5.1.1.1-Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta realizan su función mediante el deslizamiento de una cuña a través de la apertura de la válvula, cerrando el flujo que puede pasar a través de esta. Esta acción de abrir y cerrar el flujo lo permite a través de un husillo roscado accionado por un volante. Es una válvula de todo o nada y no permite la utilización de la misma para realizar una estrangulación del fluido. Las dimensiones del paso de la válvula es parecida a la tubería, por lo que el caudal que podrá pasar a través de la válvula con esta totalmente abierta es aproximado al que pasaría por la tubería. La válvula está compuesta por varias partes, todas ellas

elementos estructurales de la misma.

Ofrece poca resistencia al avance del flujo de combustible cuando está abierta en su totalidad, aunque el cierre de la válvula puede perder estanqueidad con la deposición de suciedad.

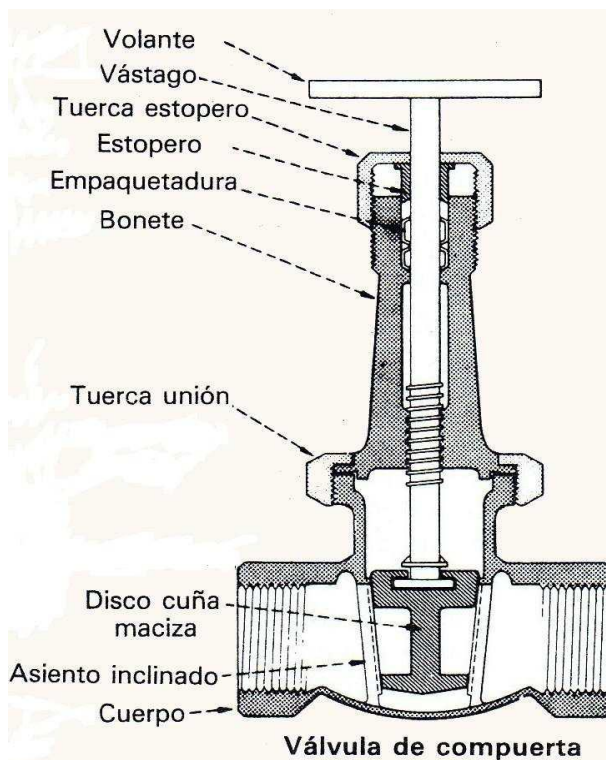


Imagen 26: Partes válvula de compuerta.

Son válvulas recomendadas para un uso poco frecuente sin descuidar su posible engrase y mantenimiento. Permite poca resistencia a la circulación, por lo que son perfectas para combustible un poco viscosos.

Las ventajas generales de este tipo de válvulas son las siguientes:

- Alta capacidad de caudal, permitiendo poca resistencia al avance.
- Cierre hermético, siempre que no se deposite suciedad en la zona de la cuña.
- Bajo coste por su estructura sencilla.

Los inconvenientes más destacados serían un control deficiente de la circulación ya que es un todo o nada, no hay caudales parciales, al ser de accionamiento manual en la mayoría de ocasiones se requerirá cierta fuerza para accionarla. Se puede producir cavitación y erosión en la estructura durante su funcionamiento.

En función del diseño de la cuña, se puede realizar una clasificación de las válvulas de compuerta. Esta diferencia, permite una mayor estanqueidad, menores vibraciones y erosión, en definitiva mejorar las prestaciones de la válvula de compuerta para diferentes aplicaciones. Se puede clasificar en:

- Válvula de compuerta de **cuña sólida**.
- Válvula de compuerta de **cuña partida**.
- Válvula de compuerta **deslizante paralela**.
- Válvula de compuerta **de doble disco**.

5.1.1.2-Válvulas de macho

Es otra válvula de cierre y bloque para tramos de tubería. En este caso el cierre de la tubería se produce debido a un giro de un $\frac{1}{4}$ de vuelta del macho de la válvula. Como en las válvulas de compuerta, las válvulas de

macho no suelen funcionar como válvula de estrangulación del flujo por lo que vuelve a ser de cierre o apertura total. Con el giro del macho permitimos encarar el agujero el macho de una cara con el flujo permitiendo su paso a través de este. Si giramos el macho para cerrar el flujo quedara la cara del macho sin agujero enfrentándose al fluido. No se produce un movimiento vertical como en la compuerta, sino un movimiento giratorio de 90°.

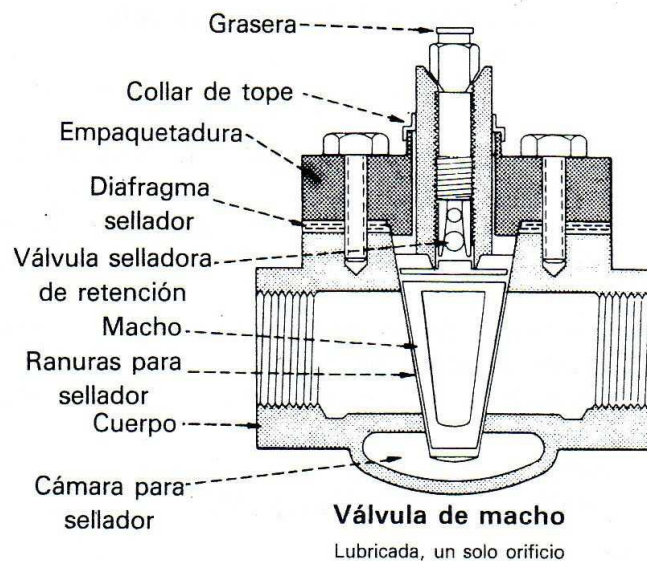


Imagen 27: Partes válvula de macho.

El flujo se produce de forma suave y constante debido a su forma interior, provocando poca caída de presión. Es de bajo coste, cierre hermético y funcionamiento rápido y sencillo. Pueden accionarse más frecuentemente que las válvulas de compuerta. Por otro lado, requieren de un par alto para su accionamiento y se produce desgaste en el asiento debido a su cavitación.

Dentro de las válvulas de macho, podemos diferenciar dos tipos según el tipo de macho pudiendo ser este **cónico o cilíndrico**. En otra clasificación, podemos encontrar las válvulas de macho clasificadas según si están

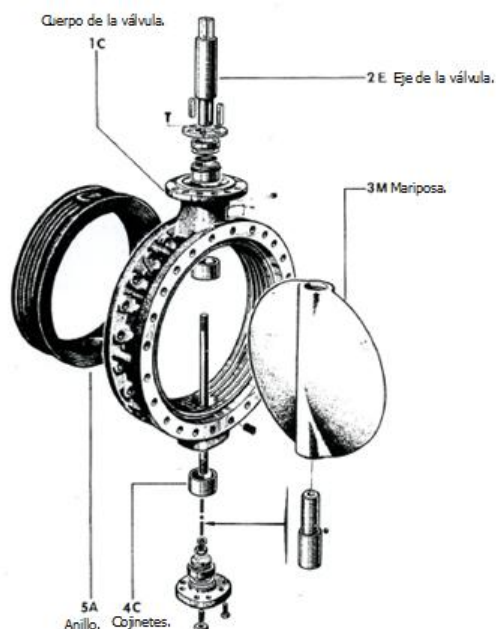
lubricadas entre la superficie del macho y el asiento o las que **no están lubricadas**. En el caso de que lo estén, se puede reducir la fricción de rotación del macho, a la vez que se forma un sello entre el cuerpo de la válvula y el macho. Un inconveniente de la utilización de lubricante es la temperatura de uso, ya que estará limitada por el lubricante utilizado.

Si, en cambio se elige sin lubricación, el macho en este caso estará revestido de teflón para eliminar la necesidad de lubricación. En este caso no hay limitación de temperatura de uso.

5.1.1.3-Válvulas de mariposa

Es la tercera y última válvula de cierre y bloque que aparece en los diferentes circuitos de combustible. Como en las dos anteriores, es una válvula de control de flujo, en muchos casos más propicia para el servicio de corte y estrangulación cuando se manejan cantidades elevadas de líquidos a presiones bajas. En este caso a diferencia que las dos anteriores, podemos tener una apertura total, un cierre total o de estrangulación.

Tiene una forma característica y constan de un disco redondo que gira en



el plano horizontal 90° alrededor de un eje vertical que pasa por el medio. Con la válvula cerrada el disco no permite el paso del fluido colocándose de forma perpendicular al flujo.

Imagen 28: Disposición válvula de mariposa.

Si la válvula está abierta, el disco se encuentra paralelo a la dirección del flujo. Su accionamiento puede ser manual o por un sistema hidráulico facilitando las operaciones de apertura y cierre.

El asiento de la válvula en el cual cierra el disco, puede ser metálico o elástico. Esto dependerá de la temperatura de funcionamiento del circuito. Para fluidos a temperatura elevada se utilizara el material metálico para que así el material abrasivo no pueda ocasionar ningún daño a los asientos. Para servicios a alta temperatura se emplean válvulas de mariposa con asiento metálico. Los sellos anulares elástico alrededor del disco permite tener un cierre a prueba de fugas.

Son válvulas que se pueden accionar de forma frecuente y de operación sencilla debido a su poco peso, estructura compacta y bajo coste. Requieren poco mantenimiento y el sistema de piezas móviles es bajo. Permite el paso de una alta capacidad de flujo y se limpia por si sola al abrir y cerrar por el paso de flujo. En sus inconvenientes principales, es propensa a sufrir cavitaciones y por lo tanto erosión en el cuerpo interior de la válvula. Puede sufrir pérdida de estanqueidad al no tener un efecto cuña como en las anteriores, por lo que se recomienda utilizar en fluidos considerados limpios.

5.1.2-Válvulas de estrangulación

A través de las siguientes válvulas, podemos conseguir como objetivos primordial una estrangulación, o cierto impedimento al paso del fluido por la tubería. De esta forma ya no habrá siempre el todo o nada como en las de cierre o bloque, sino que se podrá regular el flujo del fluido a través de las tuberías con abrir un poco la válvula. Estas pueden ser de accionamiento manual, donde uno mismo deja la válvula con una cierta

apertura o de accionamiento remoto, donde podemos elegir el tanto por cierto de apertura en una escala de 0-100. Si queremos saber el caudal que puede pasar por la válvula, a diferente caída de presión en la válvula se puede determinar de la siguiente forma:

$$Q = C_v \cdot \sqrt{(AP/l_r)}$$

Donde **Q** será el caudal, **C_v** es el coeficiente de flujo que nos suministrara el fabricante, **AP** es la caída de presión entre la entrada y salida de la válvula y **l_r** es la densidad relativa del fluido.

Las válvulas de este tipo que aparecen en los circuitos son bastante repetitivas, apareciendo más las de compuerta, las de globo y las de ángulo. En el caso de las válvulas de mariposa, estas pueden funcionar como válvulas de cierre y bloqueo, pero también como válvula de estrangulación, por lo que es una válvula que puede utilizarse de forma alternativa para ambos cometidos. Para conseguir la estrangulación abrimos un poco la válvula y queda trincada en esa posición, no permitiendo el paso de todo el fluido por la válvula.

5.1.2.1-Válvulas de globo

Válvula de estrangulación de múltiples vueltas para realizar su apertura o cierre. A través de las vueltas podemos lograr que el disco o tapan de la válvula corte el flujo de la tubería en mayor o menor grado consiguiendo la deseada estrangulación del flujo. A diferencia de las válvulas de cierre y bloqueo, estas se utilizan para regular el flujo de fluido siendo su principal uso.

En el caso de la válvula de globo, habrá que prestar atención al estado del volante, vástago, disco y cuerpo para que realicen su función de la mejor

forma posible. Al ser más de accionamiento manual, debe de estar bien engrasado su mecanismo para que su movimiento esté libre de esfuerzos por la falta de unos y lubricación. Válvula aproximada de cuerpo esférico, a través de su disco situado de forma paralela al flujo, realiza la estrangulación y regulación del líquido. Debido a la variación del sentido de flujo al llegar a la válvula, esta produce cierta turbulencia y una caída de presión por lo que erosiona en mayor grado la duración del asiento de la válvula.

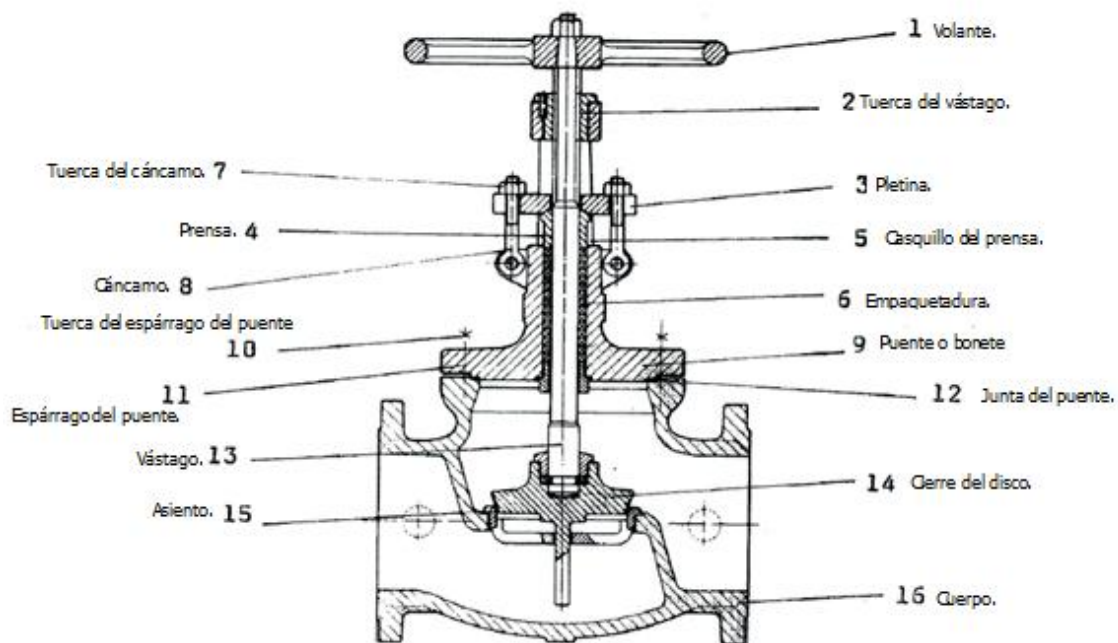


Imagen 29: Partes válvula de globo.

Como podemos ver en la imagen superior, tenemos el volante a través del cual y con su giro, vamos subiendo o bajando el disco. Con su movimiento el disco permite el paso de fluido a través de la apertura. Como podemos dejar de girar el volante a nuestra voluntad, el disco quedara en la posición elegida y el paso de fluido puede no ser total estrangulando este y reduciendo el paso. De esta forma regularemos el flujo. Debido a su

disposición el fluido llegará a la válvula y para pasar por el orificio tendrá que cambiar de dirección creando unas turbulencias por el asiendo pudiendo desgastarlo más rápidamente que en otras válvulas. Estos asientos pueden ser integrados en el mismo cuerpo o anillos de asiendo reemplazables.

Cuando la presión no es muy alta, se recomienda el empleo de asientos elásticos para que la superficie metálica se oprima contra un elastómero y por lo tanto no hay tanto peligro que se rompa el sello para obstruir el paso del fluido. Como desventaja a tener en cuenta de este tipo de válvulas es su coste elevado.

5.1.2.2-Válvulas en Y

Es una de las variaciones de la válvula de globo, en este caso tenemos un conducto rectilíneo de entrada por donde accede el fluido a la válvula. Una vez el fluido llega al asiento de la válvula, el fluido debe cambiar el sentido para pasar por el orificio de la válvula. Este paso creará una turbulencia como en la válvula de globo. El cambio de sentido no es tan vertical como en las válvulas de globo y si un poco más suavizado. Aun así su función es la estrangulación del fluido. El cambio del diseño es para adquirir ventajas de las válvulas de compuerta por su entrada más rectilínea y una menor caída de presión al pasar por la estrangulación de la misma. Como en las de globo, a través de un volante se acciona el movimiento del disco realizando la apertura y el cierre de la válvula.

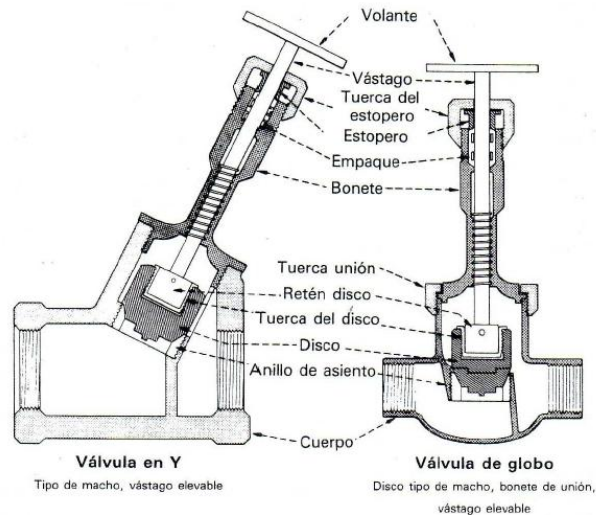


Imagen 30: Partes válvula en Y.

5.1.2.3-Válvulas de ángulo

Otra variante de la válvula de globo que tiene la conexión de entrada y salida de esta en ángulo recto. En los circuitos vistos se utiliza en gran

medida para la salida de los diferentes tanques. Presenta menos resistencia al flujo por lo que hay menores pérdidas de carga con su utilización. La forma de su cuerpo en ángulo recto permite eliminar el uso de codos, en ciertas tuberías.

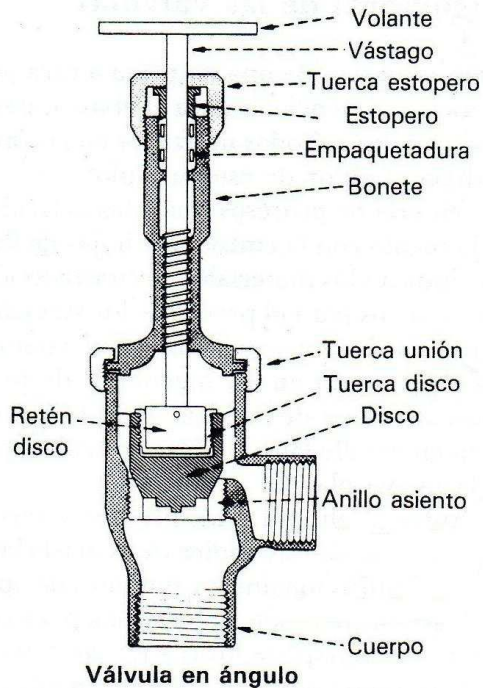


Imagen 31: Partes válvulas en ángulo.

El fluido accede a la válvula por la entrada de la misma, al estar encarada la entrada en la misma dirección que el disco, el fluido impacta con el disco y debe desviarse posteriormente hacia la salida en ángulo de 90°. En diferencia a las dos anteriores válvulas

de estrangulación, no se produce una turbulencia elevada y por lo tanto menor erosión sobre el asiento y el disco.

5.1.2.4-Válvulas de tres vías

Como ultima variación de las válvulas de estrangulación a partir de la estructura de globo, tenemos las válvulas de tres vías. Estas válvulas se utilizan para desviar o mezclar, un fluido dependiendo de cómo estén instaladas en el sistema. En los circuitos de combustible de los dos buques, las válvulas de tres vías permitirán seleccionar el flujo de combustible a través de varias líneas, es decir, tener la posibilidad de elegir entre dos ramificaciones posibles para el paso del fluido. Por lo tanto, la válvula al tener funcionar como desviador, tiene una entrada y dos salidas en todos los casos.

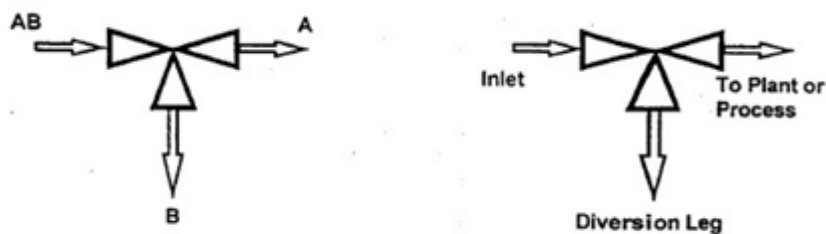


Imagen 32: Esquema funcionamiento válvulas de tres vías.

En la imagen superior, tenemos la línea AB, por la cual circula combustible. Cuando llega a la válvula, podemos tener acceso hacia la línea A o hacia la línea B. Todo dependerá de la posición de la válvula que previamente habrá que situar para que realice su función en un momento determinado. En el caso de la línea A y B, la válvula de tres vías entra dentro de la clasificación de estrangulación, debió a que se puede regular su apertura, por lo que regulan el flujo del combustible que puede pasar por estas.

Dentro de las válvulas de tres vías, podemos encontrar cuatro tipos distintos.

- **Válvula de tres vías de pistón**, un pistón hueco es empujado por el actuador, tapando uno y destapando otro de los conductos A y B. Suele utilizarse para válvulas de tres vías accionadas de forma remota. Dependiendo de lo que baje o suba el pistón, se regulará el caudal a la vez que se permitirá la entrada del fluido en la línea A o B.

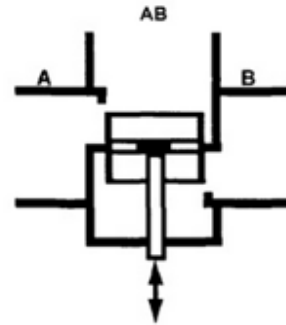


Imagen 33: Esquema válvula tres vías de pistón.

- **Válvula de tres vías de apertura y cierre**, en este caso un actuador empujara un disco entre dos asientos abriendo la línea A o la B dependiendo de la necesidad. En el caso de las de apertura y cierre, solo pueden ser utilizados como válvula mezcladora.

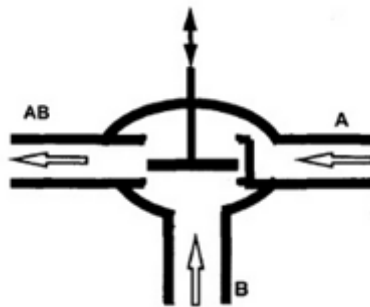


Imagen 34: Esquema válvula tres vías de apertura y cierre.

- **Válvula de tres vías de zapata rotativa**, emplea una zapata rotativa dentro de un cuerpo cilíndrico. Esta zapata tiene un movimiento máximo de 90º mediante el cual cierra la línea A o B de admisión. En las válvulas de tres vías de zapata rotativa, cuando se utiliza

como desviador de flujo, adquiere un valor elevado de posibilidad de fuga y se utiliza como mezcladora.

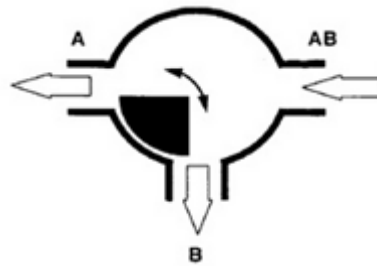


Imagen 35: Esquema válvula tres vías de zapata rotativa.

- **Válvula de tres vías de tipo obturador**, emplea un obturador sólido con doble asiento, uno superior y otro inferior. El actuador mueve el obturador incrementando y disminuyendo el caudal a través de los extremos de A y B.

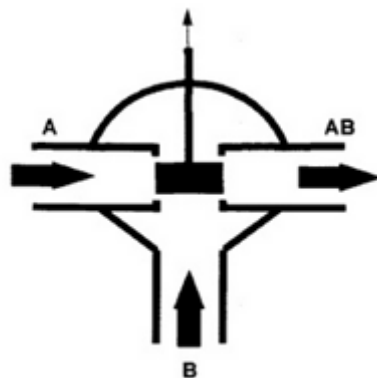


Imagen 36: Esquema válvula tres vías de tipo obturador.

En este caso, si se utiliza como desviadora, el obturador estará desequilibrado en la posición de cerrado. Esto produce una pulsación en la válvula con peligro de desgaste y posterior goteo. Por este caso, en las de obturador, se utiliza una configuración de asiento diferente cuando se utilice como desviadora.

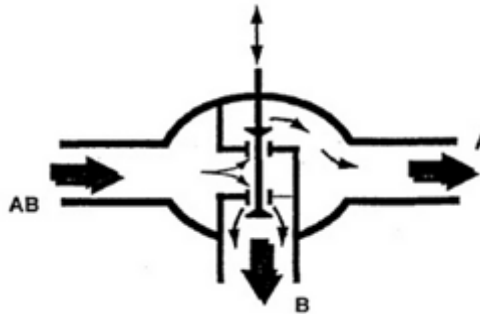


Imagen 37: Esquema válvula tres vías de obturador como desviadora.

5.1.3-Valvulas con funciones especiales

A parte de las válvulas de funcionamiento todo o nada y de las de regulación de caudal, hay otra clasificación o agrupación de válvulas destinadas a funciones del circuito con un objetivo puntual y esencial para que la instalación se pueda mantener correctamente y puedan realizarse unas operaciones únicas a través de estas. En los circuitos descritos hay instaladas válvulas de drenaje, válvulas de purga, válvulas de retención y válvulas de seguridad.

5.1.3.1-Válvulas de drenaje

Válvula colocada en un punto bajo de la línea de combustible, o en un equipo para descargar el fluido del sistema. Lo normal es que se coloquen en la parte inferior de los tanques de combustible para poder drenar todo el fluido de su interior. En ciertos sectores del circuito de combustible es posible colocar válvulas de este tipo para drenar el combustible de filtros u otros elementos. En condiciones de funcionamiento normal, están cerradas y solo funcionarían ocasionalmente y de forma controlada. Estas suelen funcionar en situaciones de limpieza de las tuberías o para descargar el fluido cuando se produce un paro prolongado. Son de accionamiento manual.

5.1.3.2-Válvulas de purga

Segunda válvula especial. Son más pequeñas que las de drenaje. Son válvulas para vaciar ciertos elementos que trabajan a cierta presión y así poder realizar el mantenimiento apropiado sobre los mismos. En el circuito suelen estar instaladas en filtros de combustible o entre válvulas de cierre para poder en cualquier caso aligerar la tubería de cierta presión. En los tanques las válvulas de purga también se puede utilizar para purgar el tanque de agua en el caso de los de combustible. A diferencia de las de drenaje que se utilizarían para un vaciado completo, en las de purga las accionamos durante un periodo de tiempo pequeño. En los tanques de combustible la accionaríamos cada día para eliminar la posible agua acumulada en el tanque.

5.1.3.3-Válvulas de retención

Tiene la función de impedir el cambio de sentido del flujo dentro de la tubería una vez el combustible ha pasado por ellas. Permite el paso del fluido en una dirección pero no en sentido contrario a la permisión de su dirección. De este tipo se pueden encontrar varios tipos en el mercado, por lo que su elección dependerá de parámetros como la temperatura del fluido, la caída de presión que puede permitirse la línea y la naturaleza del fluido.

Podemos encontrar tres tipos básicos:

- ***Válvulas de retención de bisagra o columpio***, abre la tubería al fluido, cuando este alcanza una presión, este flujo a presión en su sentido normal de aso hará que un disco oscile y se levante, separándose del asiento de la válvula. Cuando la presión es

insuficiente para su levantamiento, el disco baja y cierra el paso de nuevo. El fluido que ha pasado la válvula no podrá volver hacia atrás aunque lleve la presión de apertura. Cuando en la tubería el fluido no lleva suficiente presión no levanta el disco y este queda sujeto contra el anillo del asiento por su propio peso o por un peso externo como un muelle, o un contrapeso.

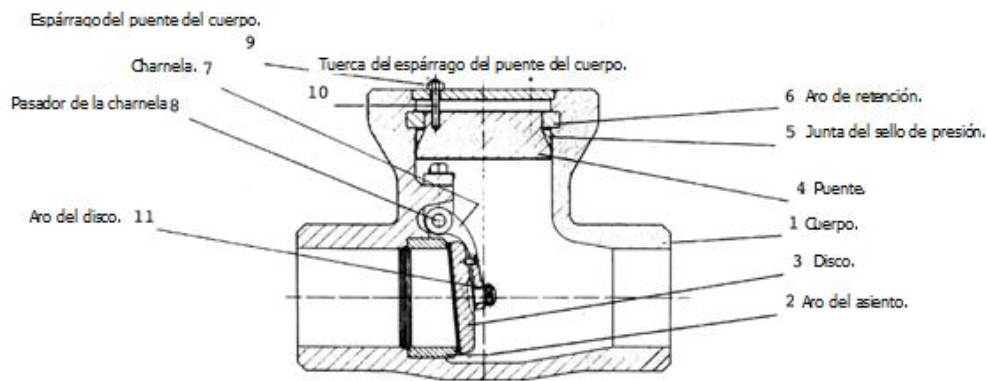


Imagen 38: Partes válvula de retención tipo bisagra.

Los componentes principales de esta variante de válvula de retención son el cuerpo, el disco y el pasador oscilante.

Se utiliza a bajas velocidades de fluido y se producen pocas inversiones de flujo. Tiene una resistencia mínima al flujo y si se necesita con una reacción más rápida para prevenir la inversión del flujo, se puede colocar o equipar la válvula con una palanca y pesos externos a esta para bajar el disco. La presión de apertura de la válvula y levantamiento del disco se puede regular. La instalación de la válvula se puede realizar en una tubería horizontal o en vertical de flujo ascendente.

- **Válvula de retención de elevación**, en esta el disco se eleva desde el asiento de la válvula por la presión de circulación, cuando el flujo se

detiene o se invierte el flujo, el disco de la válvula vuelve a asentarse por gravedad sobre el asiento. Es similar a la válvula de globo, excepto que el disco se cierra por gravedad.

Es recomendado su uso, para tuberías con cambios frecuentes de dirección, altas velocidades de circulación y además ofrece una mayor prevención del flujo inverso.

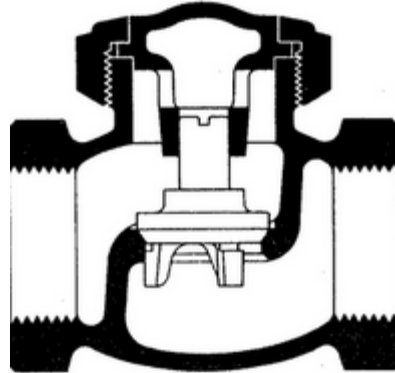


Imagen 39: Disposición válvula de retención de elevación.

Como en las válvulas de retención de columpio también los discos puede ser metálicos o de materiales compuestos dependiendo de la naturaleza del fluido. Dentro de este tipo puede sub-clasificarse según tres tipos de cuerpo en horizontal, angular y vertical o mediante los tipos de elemento de cierre, como una bola, pistón o disco.

- **Válvula de retención de mariposa**, tiene un disco que mediante una bisagra se une a un eje y este se encuentra en el centro del flujo de la tubería. El disco se encuentra a 45° con el cuerpo de la válvula, de modo que la apertura completa se consigue con un desplazamiento de corta distancia. Se caracteriza por una resistencia mínima al flujo por la tubería y apta para tuberías con cambio frecuente de dirección en el conducto.

Los tres tipos comentados, se pueden encontrar en el circuito en lugares como a la descarga de una bomba centrífuga impidiendo el retroceso del fluido, o en líneas donde el retroceso por seguridad no está permitido como en la línea general de toma de combustible. Es muy importante antes de instalar una válvula de retención, consultar con el fabricante si es adecuada para montar en posición horizontal o vertical ya que algunas válvulas de retención sólo funcionan en una de las posiciones.

5.1.3.4-Válvulas de seguridad

Dispositivo empleado en los circuitos para evacuar cierta cantidad de fluido del interior de elementos protegidos para que estos no sobrepasen un valor de presión máximo que pueda averiar el elemento en cuestión. Se pueden distinguir varios tipos e válvulas de seguridad, las cuales podremos sopesar sus características y cual se adapta mejor a los circuitos, elementos y sistemas donde vayan a ser instaladas.

Según su tipo de apertura:

- ***Válvulas de seguridad de apertura instantánea.*** Cuando la presión de tarado es superada en el espacio del elemento o tanque, la válvula se abre de completamente y de forma repentina dejando salir parte de líquido y de esta forma disminuir la presión. Al ser combustible el fluido este rebosa en el tanque de reboses.
- ***Válvulas de seguridad de alivio de presión.*** Cuando la presión de tarado es superada, la válvula no abre completamente, sino proporcionalmente al aumento de presión en el elemento y de forma controlada.

Según su actuación:

- **Válvula de seguridad de actuación directa.** Las válvulas se abren al actuar el fluido sobre el disco, levantándolo.
- **Válvulas de seguridad de actuación indirecta.** Las válvulas son accionadas por un elemento piloto externo, sin ayuda de una fuente de energía.

Según su agrupación:

- **Válvula de seguridad sencilla.** Válvula con un solo asiento en su cuerpo.
- **Válvula de seguridad doble o múltiple.** Válvula con más de un asiento en su cuerpo.

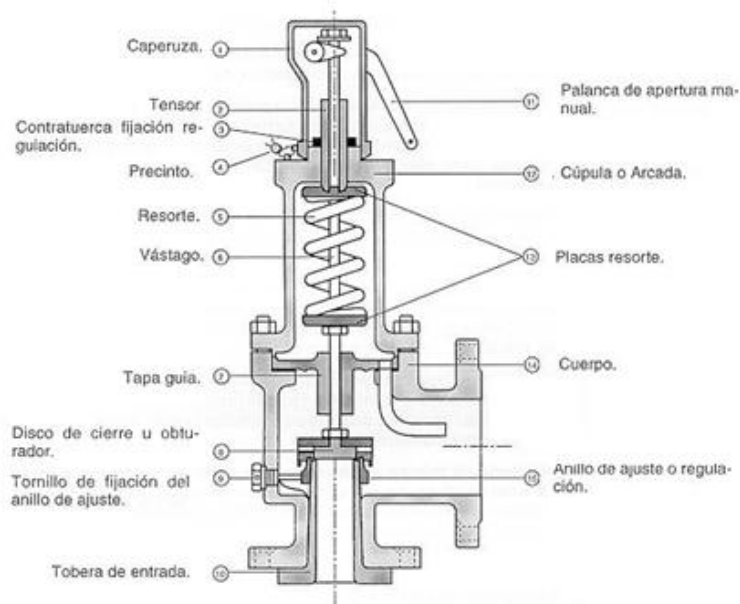


Imagen 40: Partes válvula de seguridad.

En ambos tipos de válvulas de seguridad, están diseñadas para abrirse ya sea paulatinamente o de golpe, aliviando de esta forma el aumento de presión producido en el elemento debido a unas condiciones de trabajo anormales o de emergencia.

Este aumento de presión en el elemento o sistema, empuja el disco de cierre de la válvula, levantando este. Esta fuerza es equilibrada por el muelle de la válvula que se encontrar timbrada a una presión normalizada. En el caso de la válvula de alivio, el levantamiento será progresivo en función del aumento, mientras que en la válvula de apertura instantánea, la apertura será rápida y de golpe.

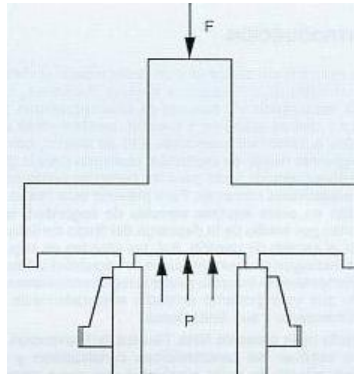


Imagen 41: Esquema fuerzas aplicadas a una válvula de seguridad.

En la imagen superior vemos las dos fuerzas enfrentadas en direcciones opuestas. Si la presión es mayor a la fuerza del muelle, el disco se levanta dejando salir la sobrepresión. Cuando la presión disminuye, la válvula cierra a una presión menor a la de tarado por la energía cinética del fluido saliente de la línea.

La válvula de tarado, será diferente para cada equipo, según las especificaciones de la normativa, las dimensiones y el servicio que ofrezca en la instalación. La presión de timbrado es importante, que no sea igual o de valor cercano a la de servicio ya que si no estaría continuamente abriendo y cerrando. Es una válvula que a poder ser no debería abrirse en ningún momento ya que demostraría un funcionamiento anormal y peligroso en la instalación. Lo normal es que la válvula de seguridad este timbrada a un 110% la presión máxima de servicios para evitar que este próxima del valor de funcionamiento

En todas las válvulas vistas, el material es importante. Hay que tener en cuenta ciertos parámetros de funcionamiento como la presión, la temperatura y el fluido que pasara por la válvula. Al haber un aumento de presión en el elemento, también afectara a la temperatura, aumentando, por lo que los materiales deberán proteger la válvula de este aumento hasta condiciones extremas de funcionamiento. Las válvulas de seguridad, pueden estar provistas de una palanca para apertura manual, a parte de su funcionamiento por su presión de timbrado.

5.1.4-Accionamiento de las válvulas

Las válvulas se pueden accionar de dos formas distintas, una mediante la acciona manual de estas, o las que se pueden accionar de forma remota mediante una señal de un actuador. Este actuador puede ser hidráulico, neumático, eléctrico o termostático.

El modo de accionamiento de las válvulas de un buque puede ser elegido según criterios establecidos como la frecuencia de accionamiento de una válvula, si esta se va a abrir y cerrar constantemente o si se va a tener que regular el caudal cada ciertos segundos ya que está sujeto el caudal a un valor significativo como la temperatura del fluido. Por lo tanto, si la válvula se va a usar frecuentemente es mejor un accionado automático, que no manual ya que no llevaríamos a cabo y de forma precisa la apertura de la válvula y el funcionamiento de la instalación.

Otro criterio a tener en cuenta es la velocidad en el movimiento de funcionamiento de la válvula. En este caso es más significativo cuando nos referimos a válvulas de gran tamaño donde el esfuerzo requerido es mayor y con un accionamiento manual se tardaría un tiempo del cual no disponemos para dar servicio a la instalación. Por lo tanto, es normal el

uso de actuadores en estos casos para facilitar el funcionamiento de las válvulas y por consiguiente de los diferentes circuitos.

Otro parámetro importante es la seguridad sobre el accionamiento de las mismas. En el caso de incendio o inicio de inundación, si el accionado debe ser manual, podemos tener problemas para acceder a ella o incluso la imposibilidad, por lo que no podemos actuar el plan de contingencia. Por lo que vuelve a ser necesario un cierre automático a distancia y con rapidez para actuar sobre el foco el problema lo antes posible.

Para conseguir el cierre o apertura automática y a distancia se utilizan actuadores de diferente índole. En el caso de los neumáticos son los más extendidos por su sencillez y capacidad de respuesta. Los hidráulicos son más potentes, pero con la problemática de necesitar un fluido para realizar la acción. Los eléctricos por su parte tienen la ventaja de poder ubicarse en lugares remotos y de difícil acceso. Por último, los termostáticos pueden sufrir en ciertos ámbitos además de tener un mantenimiento más exhaustivo.

5.2-Bombas

Como en el caso de las válvulas, los circuitos de combustible de las dos embarcaciones no llevan instaladas todas las bombas que podríamos encontrar en el mercado y que su instalación sería correcta en estos circuitos. Por lo que se pretende describir de una forma general, las bombas más importantes que pueden formar parte en la instalación además de remarcar las utilizadas en los buques descritos.

La finalidad de las bombas es poder trasladar un fluido de una parte a otra de la instalación por el interior de una tubería, así como extraer cualquier

fluido que se encuentre almacenado en un tanque. Las bombas se pueden dividir de formas diferentes, por un lado se pueden clasificar según la dirección del fluido en:

- **Flujo radial**, el fluido se mueve de forma transversal al eje de la máquina. Para bombas con impulsores de baja velocidad específica y de cargas elevadas. Presión debida a la fuerza centrífuga.
- **Flujo axial**, el fluido se mueve de forma que su componente radial del vector desplazamiento se mantenga constante. Impulsores de velocidad específica alta.
- **Flujo mixto**, el fluido se mueve en el rodete en una superficie de revolución que como eje de giro tiene el de la máquina. Bombas de carga intermedia y velocidad específica de giro mayor a la radial.

La mayoría de las bombas empleadas en el sistema de combustible de ambas embarcaciones se emplean para cambiar el fluido de posición y de esta forma hacer llegar el fuel-oil o diesel-oil a su lugar de destino, venciendo a su vez las pérdidas de carga que pueda ocasionar el desplazamiento del fluido por dentro de la tubería.

Otra clasificación que será la que seguiré para describir y situar las bombas es la clasificación referente a la clasificación de las bombas de accionamiento mecánico como bombas volumétricas o de desplazamiento positivo y bombas fluodinámicas.

El tipo de bombas idónea para su aplicación en las instalaciones de combustible son las siguientes: por un lado las bombas de desplazamiento positivo o volumétricas, dentro de las cuales tienen un especial interés las rotativas, y por último las bombas centrífugas; en esta parte del capítulo

se tratara de explicar cada tipo de estas bombas así como sus principales características.

5.2.1-Bombas de desplazamiento positivo

Bombas donde el fluido que se desplaza a través de la tubería siempre está contenido entre el elemento impulsor y la carcasa. Estas bombas se pueden dividir en tres tipos siendo estas alternativas, rotativas o peristálticas. En el último caso son bombas utilizadas para otros fines no relacionados con el manejo de combustibles en los buques. En un buque y más concretamente en los sistemas de combustible, encontraremos las rotativas en mayor medida ya que su funcionamiento se adapta mejor al trasiego y manipulación del combustible. Aun así la clasificación total de las bombas volumétricas sería la siguiente:

➤ **Alternativas**

- De pistón
- De membrana

➤ **Rotativas**

- De pistones paralelos axiales o inclinados
- De pistones radiales
- De paletas de rotor rígido de anillo excéntrico u ovalado
- De paletas de rotor flexible
- De engranaje con radiales exteriores de rotor dentado o lobulado
- De engranaje de radiales interiores
- De engranaje axiales
- De excéntrica
- De husillo

➤ De anillo liquido

➤ **Peristálticas**

El funcionamiento de las bombas volumétricas se basa en el principio del desplazamiento positivo, que consiste en el movimiento del fluido debido a la disminución del volumen en una cámara. Este cambio de volumen y por lo tanto el intercambio de energía puede ser originado por el rotor o uno de los elemento de giro de la bomba. El término de volumétricas lo obtiene ya que en la aspiración el volumen de succión aumenta, mientras que la impulsión o descarga, el volumen disminuye produciendo la disminución del volumen durante el proceso y el intercambio de energía.

En este tipo de bombas, el intercambio de energía del fluido se efectúa con variación de la presión y con la variación de la energía cinética y velocidad del fluido. Por lo tanto, a la descarga de este tipo de bombas, habrá una válvula de alivio y seguridad para que el cambio de presión no pueda ocasionar la rotura de la bomba.

5.2.1.1-Bombas alternativas

Estas pueden ser de pistón o de membrana. Las de membrana se utilizan para caudales pequeños, donde la aspiración e impulsión se realiza con partículas solidas en suspensión. Usada para náutica de recreo, por lo que no es de uso para los sistemas de combustible. Por otro lado, las de pistón sí que son utilizadas en sistemas de combustible como bomba manual para realizar el movimiento del combustible y como bomba de emergencia.

Se compone de un pistón o embolo que se desplaza alternativamente en el interior de un cilindro. El caudal de la bomba dependerá del espacio recto del cilindro y la longitud de la carrera. Su rendimiento volumétrico es bajo,

por lo que son de uso de emergencia, para cebar bombas o en algunos buques para purgar el tanque de combustible. En buques de menor eslora como embarcaciones de alta velocidad, estas bombas se utilizan para cebar los pre-filtros de combustible.



Imagen 42: *Bomba alternativa manual.*

Estas bombas son capaces de trasegar líquidos hasta 100 cST de viscosidad sin reducir el caudal. Cuando trabajan con fluidos de viscosidades mayores, el rendimiento disminuye debido a la resistencia del fluido. Si se acciona de forma manual, la fuerza requerida para accionarla sea mayor, por lo que para fluidos de viscosidad elevada a estas bombas se les acopla un motor eléctrico de velocidad lenta para mantener el bombeo constante.

5.2.1.2-Bombas rotativas

Parte de las bombas volumétricas provistas de elementos rotativos que comprimen o desplazan un fluido que es aspirado dentro del interior de una carcasa proporcionando una descarga sin pulsaciones. Este tipo de

bombas son las más usadas como bombas de circulación y alimentación de los circuitos de combustible descritos. Se pueden utilizar para fluidos viscosos como el fuel-oil, pero también para fluidos menos viscosos como el diesel-oil, ampliando su gama de servicios generales. Estas bombas se amoldan a diferentes viscosidades realizando una simple modificación en la regulación de su velocidad de giro. Las bombas rotativas que se encuentran funcionando con combustibles, tiene la carcasa y los rotores de hierro y las flechas de las bombas de acero al carbono. La flecha tiene como función transmitir el torque que recibe del motor impulsor durante la operación de bombeo.

La eficiencia de estas bombas con los diferentes fluidos, se mantiene elevada, si se ajustan estas a cada uno de ellos.

5.2.1.2.1-Bombas rotativas de pistones

Se componen por múltiples cilindros dispuestos de forma axial, radial o inclinada. En todos los casos los pistones son desplazados alternativamente respecto de un cilindro una vez por revolución. Alimentación y descarga de los pistones común. En el caso de los de pistones paralelos, son bombas reguladoras de caudal. Los pistones se encuentran paralelos al eje de giro y a través de la inclinación del plato de la bomba respecto a los cilindros, el caudal de salida será variable. En el caso de los paralelos inclinados, el caudal será más difícil de controlar. En el caso de las de pistón radial, se utilizan para caudales pequeños y presiones elevadas.

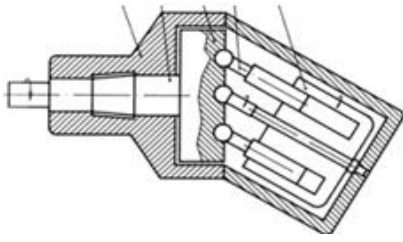


Imagen 43: Esquema bomba rotativa de pistones.

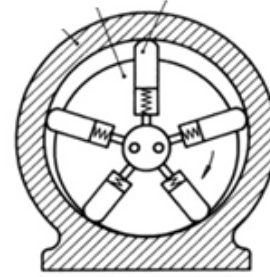
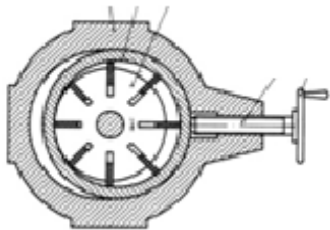


Imagen 44: Esquema bomba rotativa de pistones radiales.

5.2.1.2.2-Bombas rotativas de paletas

Como en el caso de las bombas rotativas de pistones, las bombas de paletas no son tan utilizadas en sistemas de combustible. Estas bombas cuentan con un conjunto de paletas con cinemática radial. El rotor está colocado de forma excéntrica respecto del eje del cuerpo de la bomba. Las aletas realizan durante la rotación del rotor movimientos alternativos o de



vaivén provocando una disminución del volumen del fluido en cada etapa con su revolución.

Imagen 45: Esquema bomba rotativa de paletas.

Las paletas con el giro van teniendo menos recorrido deslizándose por la parte interior del estator. El volumen en la aspiración de la bomba crece hasta alcanzar un valor máximo para que mediante su giro, se dirija hacia la impulsión de la bomba. El volumen se va reduciendo, mientras aumenta la presión, hasta que el fluido es impulsado por la descarga. Estas bombas no tienen tanta hermeticidad como otras bombas rotativas, aunque se puede mejorar instalando un número de paletas mayor. Estas bombas se utilizan con fluidos de poca viscosidad como agua dulce sanitaria. El caudal se puede regular.

5.2.1.2.3-Bombas rotativas de engranajes

Son bombas más adecuadas para el trasiego de fluidos de viscosidad parecida al aceite lubricante. El fluido en este tipo de bombas, para su manipulación debe tener una viscosidad mínima ya que estas dependen su funcionamiento de un pequeño juego en sus elementos. De esta forma el cierre será adecuado y se evitara las perdidas internas. Estas bobas se subdividen en bombas de engranajes externos y bombas de engranajes internos. En las de tipo externo, tenemos bombas de construcción simple, versátiles y fabricadas en una amplia gama de tamaños.

Trabajan bien a grandes presiones. Son acertadas para construcciones internas de motores o módulos cerrados, por lo que esto obliga a prestar mucha atención a la precisión de su fabricación y la rigidez de sus componentes. Su utilización con fluidos lubricantes es importante ya que sino el desgaste de los dientes podría ser muy elevado.

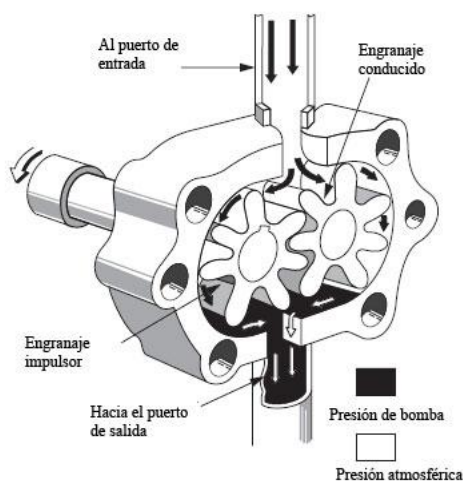
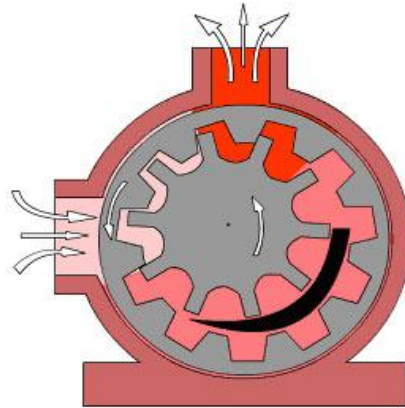


Imagen 46: Esquema bomba rotativa de engranajes.

En las de engranajes internos, tenemos un pequeño motor montado de forma excéntrica con el engranaje externo de mayor diámetro y alojado en una carcasa. El giro da lugar a un cambio de volumen dentro de la carcasa circular donde está el engranaje. Este aumento y disminución de volumen permite la impulsión del fluido. De presión menor por su estructura, su acción es más suave que la de engranajes externos. Son

bombas más complicadas de construcción, pero pueden manipular líquidos más viscosos.

Imagen 47: Esquema bomba rotativa de engranajes internos.



Dentro de las bombas de engranajes externos, hay las de rotor lobular, su principio de funcionamiento es propio de las bombas de engranaje, exceptuando la forma de los elementos rotativos, en vez de dentadas, son de forma lobular, manteniendo el desplazamiento positivo en todo momento. Estos lóbulos se mueven gracias a una interconexión o cadena de transmisión montada en el exterior de la carcasa.

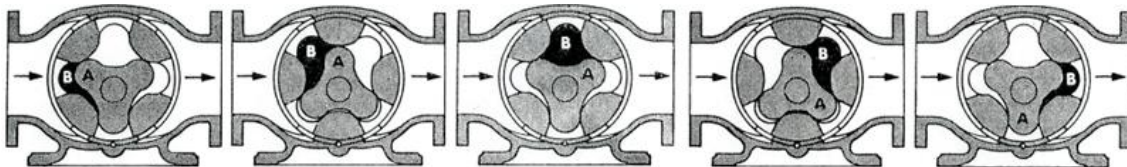


Imagen 48: Secuencia funcionamiento bomba rotativa de tres lóbulos.



Imagen 49: Secuencia funcionamiento bomba rotativa de dos lóbulos.

El número de lóbulos en el rotor puede variar dependiendo de las características de la bomba. Esta gran variedad de formas da lugar a que este tipo de bombas puedan manipular varios productos de forma precisa y de diversas capacidades. Puede utilizarse como en las bombas de engranaje interno para una gran gama de viscosidades, sin que estos deban tener necesariamente propiedades lubricantes.

5.2.1.2.4-Bombas rotativas de husillo

Son bombas muy versátiles a la hora de manipular una gran variedad de fluidos con diferencias visibles de viscosidad. Estas se pueden subclasificar en bombas con un rotor de forma helicoidal y en bombas de husillos paralelos donde dos o más husillos giran como un juego. Ambos tipos son bombas de desplazamiento positivo. El fluido entra por uno de los extremos del husillo y a través del giro de estos, el fluido queda apresado en un espacio contra la configuración interna del estator. Cuando el fluido se desplaza hacia la descarga de la bomba, el espacio entre el husillo y el estator va reduciéndose y aumentando de esta manera la presión. La estanqueidad durante todo el proceso es constante. Este cierre móvil es el que provocara el desplazamiento positivo. Una vez llega a la descarga, el estator se abre a los husillos impulsando el fluido para que siga su curso. La capacidad de este tipo de bombas suele ser limitada y no se acostumbra a utilizar de forma individual, sino se instalan en paralelo. Estas bombas, son las utilizadas en los buques de estudio, para hacer referencia a las bombas de trasiego de combustible de fuel-oil y diesel-oil.

Los husillos engranan unos con otros con una pequeña tolerancia. Esta tolerancia se anula con una capa de lubricante en la bomba para que no se produzcan fugas y haya una buena estanqueidad y un buen proceso de impulsión. Por lo tanto, el mecanizado de los husillos y el estator debe ser correcto y preciso.

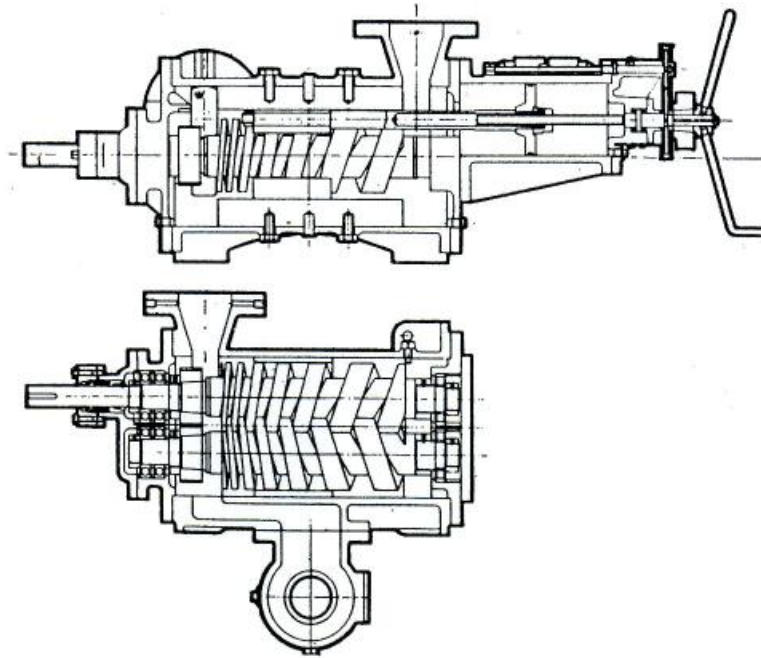


Imagen 50: *Bomba de dos husillos.*

El empuje axial de este tipo de bombas debe contrarrestarse mediante cojinetes de empuje. Lo normal, es instalar dos husillos de sentido opuesto de forma que el empuje axial de uno de ellos es contrarrestado por el otro. Como pueden funcionar a baja velocidad sin perder rendimiento, las hace apropiadas para la manipulación de fluidos viscosos como el fuel-oil y diesel-oil.

Dentro de las bombas utilizadas en los circuitos de combustible de ambas embarcaciones destacan:

➤ **Bomba de trasiego de diesel-oil:**

Marca	AZCUE
Modelo	BT-LH 80 T
Cantidad	1
Caudal	$35 \text{ m}^3/\text{h}$
Presión trabajo	3 bar
Potencia motor eléctrico	12,6 kW

Alimentación	400V a 60 Hz
Auto-cebado	No
Peso	195 kg

Tabla 26: Características bombas trasiego de diesel-oil.

➤ **Bomba de trasiego de fuel-oil:**

Marca	AZCUE
Modelo	BT-LH 80 T
Cantidad	1
Caudal	35 m ³ /h
Presión trabajo	3 bar
Potencia motor eléctrico	12,6 kW
Alimentación	400V a 60 Hz
Auto-cebado	No
Peso	195 kg

Tabla 27: Características bombas trasiego de fuel-oil.

➤ **Bombas módulo alimentación de fuel-oil y diesel-oil:**

Marca	AZCUE
Modelo	BTHM 32 DF HT-4-F4C
Velocidad de giro	3500 rpm
Presión trabajo	4 bar
Tipo	Bomba de husillo
Potencia nominal del motor	2,5 kW

Tabla 28: Características bombas módulo alimentación de combustible.

➤ **Bombas módulo circulación de fuel-oil:**

Marca	AZCUE
Modelo	BTHM 32 DF HT-4-F4C
Velocidad de giro	3500 rpm

Presión trabajo	10 bar
Tipo	Bomba de husillo
Potencia nominal del motor	3,4 kW

Tabla 29: Características bombas módulo circulación de fuel-oil.

El diesel-oil debido a su viscosidad menor al fuel-oil, no debe de pasar por fases de tratamiento. Por lo que una vez sale de los tanques de servicio diario, puede dirigirse directamente a la bomba de alimentación para ir a parar a los motores principales o auxiliares dependiendo de su propósito. Estas bobas de diesel-oil estarán instaladas en el mismo modulo de circulación o alimentación para dar suministro a la maquinaria.

5.2.2-Bombas fluodinámicas

Bombas de accionamiento mecánico como las volumétricas. Bombas de mayor caudal que las volumétricas, pero levantan poca presión. La transmisión de la energía al fluido, no se produce por una disminución de volumen en sus diferentes fases de giro, sino que la energía transmitida al fluido es un aumento de su energía cinética y potencial con el giro del rotor de la bomba. Por lo tanto, a menor presión mayor caudal por su facilidad de impulsión. Si aumentamos la presión el caudal disminuirá. Las bombas fluodinámicas se pueden dividir en tres grupos:

- **Turbobombas**
 - Centrifugas
 - Helicocentrifugas
 - De hélice
- **Periféricas**
- **De fricción**

En los circuitos de combustible el tipo de bomba e las fluodinámicas que se adapta a su aplicación son las turbobombas. En el caso de las bombas periféricas y de fricción no son funcionales para el tipo de fluido que

circula a través de las tuberías de combustible. En el caso de las periféricas, son bombas que produce cavitación elevada y el líquido recibe impulsos de energía. Son más aptas para el uso con líquidos más limpios como el agua. En el caso de las de fricción, además de ser de caudal bajo, el fluido es encapsulado en un espacio pequeño, que por viscosidad y rozamiento irá aumentando de temperatura. Es el principio que se utiliza para productos lácteos.

Por lo tanto, de las fluodinámicas hay que prestar atención a las tubobombas o bombas de intercambio de cantidad de movimiento. A través de un rodete en movimiento, entra el fluido por su parte media de la voluta y por el giro de este, el fluido irá ganando energía cinética y potencial para salir de la voluta a gran velocidad. Por lo tanto, se produce un intercambio entre energía mecánica el rodete a energía cinética. Las más utilizadas dentro de las turbobombas son las centrifugas para los sistemas de combustible. En el caso de las centrifugas la salida del fluido es perpendicular al eje; en las bombas de hélice el flujo es paralelo al eje; y en las bombas helicocentrífugas el flujo es mixto.

En el caso de las bombas de hélice, se utilizan normalmente para elevar poca altura un caudal elevado y son utilizadas para saneamiento y centrales eléctricas de bombeo de agua. En el caso de las helicocentrífugas su aplicación y funcionamiento es intermedio a las centrifugas y de hélice. Tienen problemas de estanqueidad. Aplicaciones con productos limpios como en las de hélice.

Por lo tanto, me centraré en las centrifugas como alternativa para su instalación en los circuitos de combustible. Pueden mover grandes caudales aprovechando la fuerza centrífuga que provocan, con unas

presión relativamente baja. Para evitar problemas de cavitación es importante tener el mismo volumen en todas las secciones, diferencia importante si lo comparamos con las volumétricas. Es una maquina que consta de un rodete con alabes fijos alojados en una carcasa. El rodete se monta sobre un eje que gira mientras la carcasa se mantiene fija.

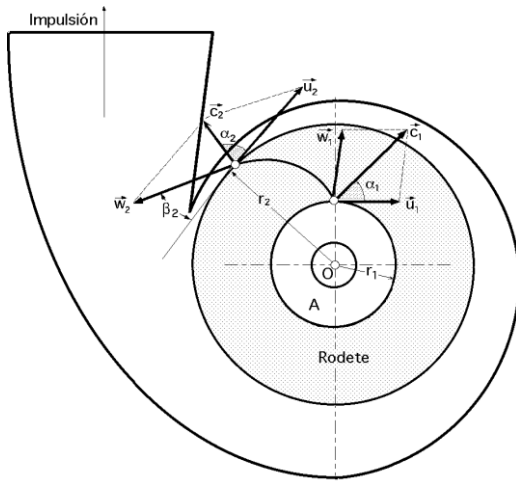


Imagen 51: Forma espiral de la voluta de una bomba centrífuga.

La acción de bombeo y trasiego de combustible desde la aspiración central hasta su descarga radial es el resultado del aumento del impulso mecánico del rodete aplicado al flujo. Dependiendo del rodete y la

configuración de la carcasa, el fluido será acelerado de una forma u otra.

Debido al giro del rodete y el movimiento de los alabes dispuestos sobre este, obligan al fluido a seguir un camino radial siendo expedido hacia el interior de la carcasa en forma de voluta. Cambiando la forma del rodete, podemos dirigir el flujo en una dirección radial y axila simultáneamente o solamente en dirección axial. Por lo tanto, se pueden distinguir diferentes bombas centrífugas según la dirección del flujo en bombas centrífugas de flujo mixto si la dirección es radial y axial y las de flujo axial si la dirección del flujo solamente es axial.

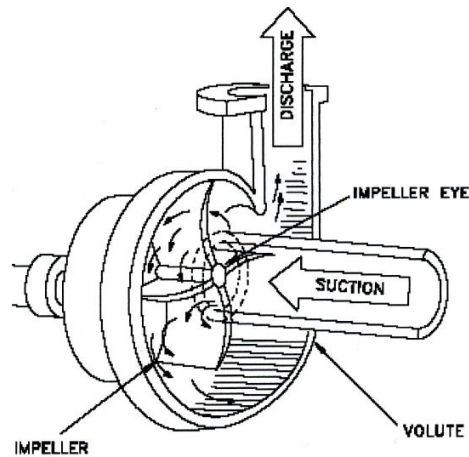


Imagen 52: Esquema interno bomba centrífuga.

Para no perder una cantidad notable de energía durante el intercambio, se intenta que la transformación de energía cinética a energía de presión a la salida de la voluta, sea lo mayor posible. Esto se consigue mediante la forma de la carcasa en forma de espiral. Para caudales grandes se usa el rodete de doble aspiración que equivale a tener dos rodetes de simple aspiración uno al lado de otro pudiendo doblar la capacidad de aspiración y el diámetro de giro del rodete. Estas bombas pueden instalarse de forma vertical si el espacio requerido es mayor.

Uno de los problemas como en la periféricas es la cavitación de las bombas centrífugas, durante su funcionamiento. Por lo tanto, en los circuitos de combustible del Murillo estas bombas forman parte de los dos módulos de calentamiento de combustible de los motores principales y auxiliares, modulo de alimentación de caldera y del incinerador. Las bombas de estas dos unidades son las siguientes:

Equipo	Unidad de precalentamiento de motores auxiliares
Marca	AZCUE
Modelo	CP 25/ 130
Caudal	$6 \text{ m}^3/\text{h}$
Presión de funcionamiento	0,8 bar

Velocidad de giro	3500 rpm
Equipo	Unidad de precalentamiento de motores principales
Marca	AZCUE
Modelo	CP 25/ 130
Velocidad de giro	3500 rpm

Tabla 30: Características unidades de precalentamiento motores buque Murillo.

5.3.-Depuradoras de combustible

Elemento del sistema de combustible que se encarga de separar impurezas del combustible, como el agua, de manera centrifuga. Para poder realizar dicha función de separado las impurezas deben poderse separa por métodos mecánicos como a través de las depuradoras, teniendo diferentes densidades y que no estén emulsionados con el combustible. Las depuradoras además de un sistema de separado de impurezas y sedimentos del combustible, se erigen también como un sistema de bombeo entre el tanque de sedimentación de fuel-oil y el de servicio diario. El combustible pesado deberá pasar por la depuradora antes de llegar al tanque de servicio diario si se quieren eliminar ciertas sustancias no deseadas para la combustión. Por lo tanto, es un dispositivo indispensable en la instalación de combustible para la parte de fuel-oil.

Las depuradores de combustible, suelen poder trabajar tanto como purificadores como clarificadores y se diferencia en que durante la purificación se aísla en dos componentes, una mezcla de líquidos, eliminando en el mismo proceso sólidos en suspensión que se puedan encontrar en el fluido. En cambio la clarificadora elimina solo los sólidos en suspensión, pero no separa fluidos integrados en el fluido primario y que se les denomina impurezas. De esta forma, la manera más rápida de

depurar un fluido es purificándolo ya que eliminamos varios tipos de impurezas en el fluido primario. En este caso, del combustible eliminaríamos el agua y también sólidos en suspensión.

La elección de poder funcionar como purificadora o clarificadora, afectará a ciertos elementos del bolo que habrá que cambiar dependiendo de la elección.

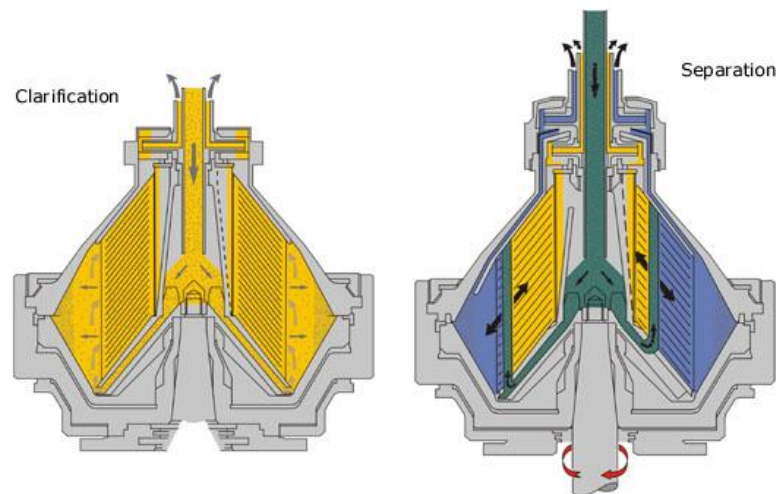


Imagen 53: Diferencia entre clarificación y separación.

Dentro de la depuradora se encuentran varios elementos fundamentales como el bolo. Este es el espacio más importante de la depuradora. Se encuentra equilibrado perfectamente tanto estática como dinámicamente con el fin de minimizar el ruido y vibraciones durante su funcionamiento. En su interior, hay un espacio ocupado por un paquete de platillos cónicos de acero inoxidable. Cada platillo tiene un grosor de medio milímetro. Puede haber de 50 a 150 platillos dependiendo de las dimensiones de la depuradora.

Entre cada uno de los platillos, se disponen canales de separación formados estos y donde tiene lugar la separación centrífuga de los fluidos. El combustible entra de forma tangencial en la depuradora y empieza a

girar con el movimiento del bolo. El fluido más pesado, tiene una fuerza centrífuga mayor que la del producto petrolífero, por lo que será repelida hacia el exterior del bolo y la cara interior de la depuradora. El producto petrolífero se quedara en la parte media del bolo.

Que los fluidos se queden dentro del bolo, es posible ya que la parte inclinada del bolo y su tapa, forman un recinto periférico para poder recoger las partículas de agua y sedimentos en suspensión. Estos lodos y restos de agua que forman las impurezas del combustible y que se desprenden después de su purificación, son enviados mediante líneas de purga hacia el tanque de lodos del buque, para poder ser quemados en el incinerador en el caso del buque Murillo, o ser descargado en una toma MARPOL a su llegada a puerto. Ambos buques pueden descargarlo en puerto, mediante una toma de cubierta.

Para el fuel-oil, pasar por las depuradoras es indispensable para no ocasionar mayores problemas en las líneas de combustible y en los elementos de combustión e inyección. En el caso del diese-oil, también dispondremos de depuradoras, pero las bombas de alimentación a estas pueden funcionar como bombas de trasiego evitando la depuradora y pasando del tanque almacén al tanque de servicio diario para la utilización en las diferentes máquinas. El no paso del diesel-oil por la depuradora no supondrá un problema tan grande como el fuel-oil.

Como se puede ver en los circuitos del buque Murillo, el combustible antes de su entrada en la depuradora pasa por unos calentadores para elevar la temperatura a la correcta para su proceso de purificación. Si la temperatura es la correcta, el combustible puede evitar los calentadores.

Una vez sale el combustible de la depuradora, se vuelve a controlar la temperatura para poder controlar el combustible en todo momento.

El fuel-oil deberá entrar en la depurador a una temperatura de 90°C aproximadamente y en el caso del diesel-oil a unos 40°C. Además de la temperatura, hay que prestar atención a la presión, mediante el indicador de presión de la depuradora. Durante el funcionamiento de la depuradora se puede llevar a cabo la limpieza de la misma si esta ya lleva un periodo elevado de funcionamiento. Para realizar la limpieza, hay que cerrar la admisión de combustible y abrir la admisión de agua durante 40 segundos. Una vez se expulsa el agua de limpieza por la purga hacia el tanque de lodos, se puede abrir de nuevo la admisión e combustible y seguir con la purificación.

A la hora de arrancar una depuradora, hay que prestar especial atención al proceso de la realización del sello, antes de la admisión de combustible en la misma. Si no se realiza correctamente el proceso de purificación no se podrá llevar a cabo.

Cuando se desee parar el funcionamiento de la depuradora, interrumpimos la alimentación de combustible y se abre la admisión de agua para desplazar los restos que pueda haber dentro de la depuradora durante 60 segundos. Después de este tiempo se vuelve a abrir la admisión de combustible. Esta operación se repite de 4 a 6 veces, tras lo cual se para el motor. Es aconsejable poner freno a la depuradora.

5.3.1.-Alfalaval MAB 104 B 14/42

Depuradora de diesel-oil instalada en el remolcador Willy T. Una vez nos encontramos en la sala de máquinas del remolcador, la depuradora de combustible se encuentra al lado del motor auxiliar de babor, junto a los filtros de combustible y el tanque de popa de combustible. Las características de la depuradora son las siguientes:

Modelo	Alfalaval
Tipo	MAB 104 B 14/42
Nº producto	881241-08-14/3
Año de fabricación	2008
Máxima velocidad de giro del rotor	7350/7500 rpm
Sentido de giro	Anti horario
Velocidad de giro del eje del motor	1500/1800 rpm
Frecuencia	50/60 Hz
Potencia del motor	1,1/1,5 kW
Máxima densidad fluido alimentación	1100 kg/m ³
Máxima densidad de sedimentación	1600 kg/m ³
Mínima temperatura del proceso	0°C
Máxima temperatura del proceso	100°C

Tabla 31: Características depuradora remolcador Willy T.

La depuradora de combustible Alfalaval sigue los principios de funcionamiento comentados anteriormente en las tareas de separación y purificación de impurezas del combustible. Elimina las partículas en suspensión y separa dos fluidos por diferencia de densidades dentro del bolo. La parte de accionamiento de la depuradora es controlado por un motor eléctrico. La parte del proceso está controlada por las partes móviles que permiten separar estas impurezas del combustible por fuerza centrífuga y diferencia de densidades.



Imagen 54: *Depuradora remolcador Willy-T.*

La depuradora se encuentra anclada por la parte inferior a la estructura del buque, mediante las cuales puede absorber las vibraciones que se puedan producir de la depuradora.

El combustible una vez entra dentro de la depuradora, es purificado mediante el giro del rotor, y una vez limpio sale por la parte superior, quedando los sedimentos y lodos en la periferia para ir a parar al tanque de lodos. En la parte exterior de la cubierta de la depuradora tenemos dos puntos importantes de observación, uno de los puntos es la entrada de combustible. Podemos ver este a través de un espacio visible por donde entra el combustible. Podemos controlar la admisión y si el combustible está entrando correctamente en la purificadora.



Imagen 55: *Visor admisión de combustible.*

Por otro lado, tenemos el indicador de revoluciones para controlar el giro de los elementos móviles y poder ver cualquier anomalía respecto a la acción centrifugadora.



Imagen 56: *Indicador de la velocidad de giro.*

5.3.2.-Depuradora Alfalaval MMPX403 y FOPX614 TFD26

Depuradoras instaladas en el buque Murillo para la purificación del fuel-oil y del diesel-oil. Como se ve en el circuito de trasiego de combustible, hay dos depuradoras para la purificación del fuel-oil y una para la purificación del diesel-oil. En el caso de del fuel-oil tiene las siguientes características:

Modelo	Alfalaval
Tipo	FOPX 614 TFD-26
Cantidad	2
Presión de entrada del vapor	6,5 bar
Capacidad	5300 l/h
Unidad de control	EPC 400
Bomba alimentación	AZCUE
Tipo bomba	BT-IL 45 D2

Tabla 32: *Características depuradora de fuel-oil buque Murillo.*

Las dos depuradoras de fuel-oil, estarán situadas de forma paralela en la línea de fuel-oil aspirando de una línea a través de la cual se puede recibir combustible de diferentes ramales, como el tanque almacén, tanque servicio diario o tanque de reboses. Una vez se realiza la purificación de combustible, este va al tanque de servicio diario. El fuel antes de entrar en la depuradora deberá ser calentado por los calentadores colocados antes de las depuradoras hasta una temperatura aproximada de 100°C para una óptima separación de las impurezas y un buen funcionamiento del centrifugado.

Estas depuradoras forman parte de un modulo mayor de purificado y clarificado donde hay más elementos para realizar y controlar el proceso. El modulo consta de:

- **Separadora FOPX.** Funciona como purificadora y clarificadora. El fuel limpio saldrá por la parte superior y los sedimentos se acumularán en la periferia.
- **Unidad de control y transductor de agua.** Será como una central de alarmas, donde se supervisa y controla todo el proceso de separación y limpieza.
- **Bomba de alimentación de fuel** a través de bombas colocadas al principio del modulo y por donde se aspira el combustible. Posteriormente las bombas impulsan el combustible hacia los calentadores de combustible. Una vez sale del **calentador el combustible** podrá o no seguir hacia la purificadora. Si la temperatura no es la adecuada, el fuel puede volver al tanque de decantación.

En el caso del diesel-oil, la depuradora seguirá el mismo principio, con diferencias en el modulo de purificación. Al ser un combustible más ligero, no requerirá de una temperatura de admisión a la depuradora tan elevada. Como en el caso del fuel-oil, habrá un calentador antes de la depuradora. El caudal de la bomba de alimentación del modulo de purificación será menor. Una vez ha pasado por la purificadora, el combustible va al tanque de servicio diario, al tanque del motor de emergencia o al tanque del incinerador. Las características de la depuradora de diesel-oil son las siguientes:

Modelo	Alfalaval
Tipo	MMPX-403
Cantidad	1
Capacidad	1200 l/h
Unidad de control	EPC 41
Bomba alimentación	AZCUE
Tipo bomba	BT-MM 25 D2

Tabla 33: *Características depuradora diesel-oil buque Murillo.*

5.3.3.-Purificación: Factores y métodos

A la hora de llevar a cabo una operación tan importante como es la purificación de los combustibles dentro de un buque, todos los parámetros deben estar correctamente calculados y ajustados para que la operativa sea correcta. A día de hoy, es imprescindible que toda instalación, tenga actualizada y instalada un módulo de purificación en la línea de combustible para poder tratar los combustibles de baja calidad que salen de las torres de refinación. Esto permitirá que ciertos elementos no aptos para una combustión correcta sean separados del combustible antes de su combustión y uso.

Los factores más importantes que podemos encontrar en el proceso de purificación sería tener consciencia de la densidad del combustible del proceso, ya que las densidades actuales son elevadas debió a los procesos de refinado actuales. Esto se relaciona con los crudos más pesados. Por lo tanto, entra en juego la importancia de instalar en el modulo calentadores de combustible, para poder elevar lo máximo posibles la temperatura antes de su entrada en la depuradora y realizar la separación.

Un segundo parámetro igualmente ligado a la densidad y que afectara a elementos de las depuradoras, es la elección de un correcto disco de gravedad. La densidad afectara a la fase de separación del combustible y el agua, dentro del bolo. Si el lugar de separación se sitúa fuera de la periferia exterior del paquete de platillos conseguiremos una mejor separación debido a la fuerza centrífuga. Por lo tanto, para conseguir estos, hay que tener presente la selección del disco de gravedad y su diámetro. A la hora de escoger el disco, habrá que tener presente por otro lado, que el diámetro interior del disco, no cause la rotura del sellado de la depuradora.

Con el aumento de temperatura par que el combustible no sea tan denso, también afectaremos a la viscosidad del combustible. Cuanto menor sea la viscosidad, más fácil será llevara a cabo la separación del agua y de las partículas en suspensión. Por lo tanto, este parámetro reforzará la necesidad de pre-calentar el combustible antes de su entrada en la depuradora, para que alcance la temperatura mayor posible, pero sin pasar los 100°C, ya que por encima, el agua empezaría a evaporarse y se originaría la rotura del sellado del liquido.

La temperatura de separación dentro de la depuradora se debe mantener constante con variaciones de hasta 2 °C, ya que si hubiese variaciones mayores, el peso específico del combustible variaría y las densidades entre el combustible y el agua también por lo que la fase de separación se vería afectada.

A la hora de realizar la purificación del combustible y dirigirlo hacia los tanques de servicio diario, el caudal que pase por la depuradora es importante que sea el mínimo necesario para abastecer el consumo en cada momento de las diferentes máquinas. Es importante que la regulación de admisión sea constante y no tener que regularlo mediante la estrangulación de las válvulas.

El caudal de combustible a tratar por la separadora se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot t}$$

Donde, **Q** será el caudal en l/h, **P** será la potencia máxima continua en kW, **b** hará referencia al consumo específico de combustible por el motor con un 18% añadido, **ρ** será la densidad del combustible y **t** el tiempo de funcionamiento de las separadoras.

Las bombas de alimentación del módulo de purificación se dimensionan teniendo en cuenta el consumo más elevado de los motores a máximo funcionamiento. El modo de operación en ambos buques es diferenciado, por un lado por el número de depuradoras y por otro el tipo de combustible utilizado. En el buque Murillo hay instaladas 3 depuradores, dos de fuel-oil y una de diesel-oil. Las de fuel se disponen en paralelo,

mientras que las de diesel-oil del Murillo y del Willy T se únicas sin haber una de respeto. En este caso el combustible es más ligero, por lo que no es tan importante eliminar posibles impurezas que pueda transportar.

Dentro de un buque podemos encontrar tres formas diferentes de operación:

- **Operación en serie**, es la operación más efectiva al trabajar con fueles residuales para la eliminación de partículas. La separación se realiza en dos etapas, una trabajando como purificadora mientras que la segunda trabaja con clarificadora, por lo que la eliminación de agua por una parte y de sustancias en suspensión por otra se realizar de una forma muy adecuada.

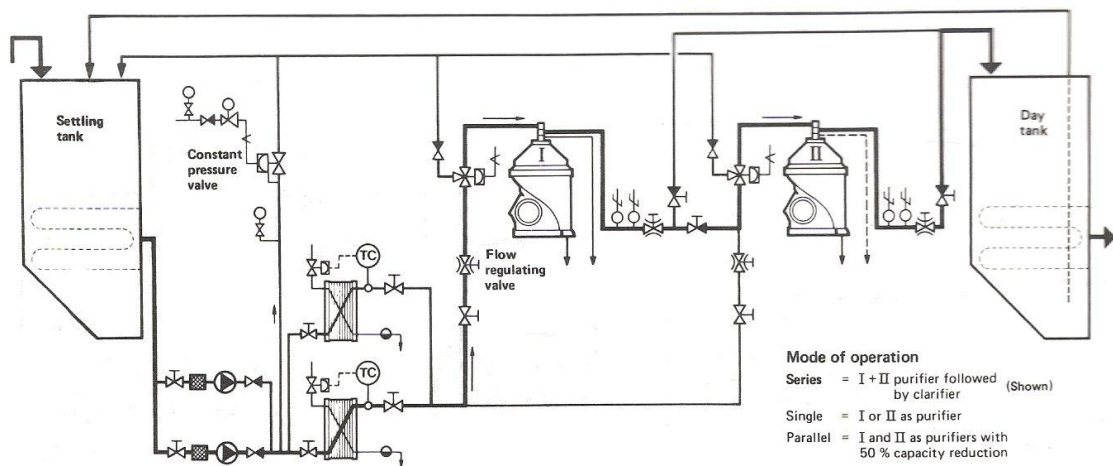


Imagen 57: Esquema operación en serie de depuradoras.

- **Operación en paralelo**, es la utilizada en el buque Murillo con las depuradoras de fuel-oil. En esta disposición las depuradoras pueden trabajar al 50% cada uno, o una trabajar al 100% mientras la otra se encuentra en espera. Esta disposición ofrece un mejor rendimiento en cuanto a la capacidad de la eliminación de lodos y agua, pero un menor rendimiento para la eliminación de sustancias en suspensión.

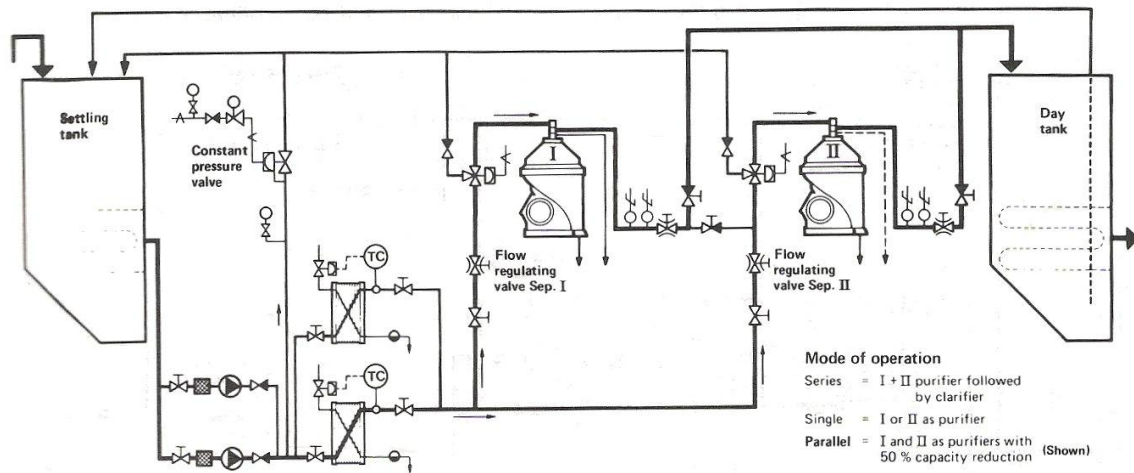


Imagen 58: Esquema operación en paralelo de depuradoras.

- **Operación mixta**, sería una operación perfecta para el tratamiento de los combustibles. Debido a la variedad de los diferentes fueles residuales y la variación de sus parámetros. Con este sistema podemos tener cierto grado de flexibilidad a la hora de poder operar con ambos sistemas anteriores.

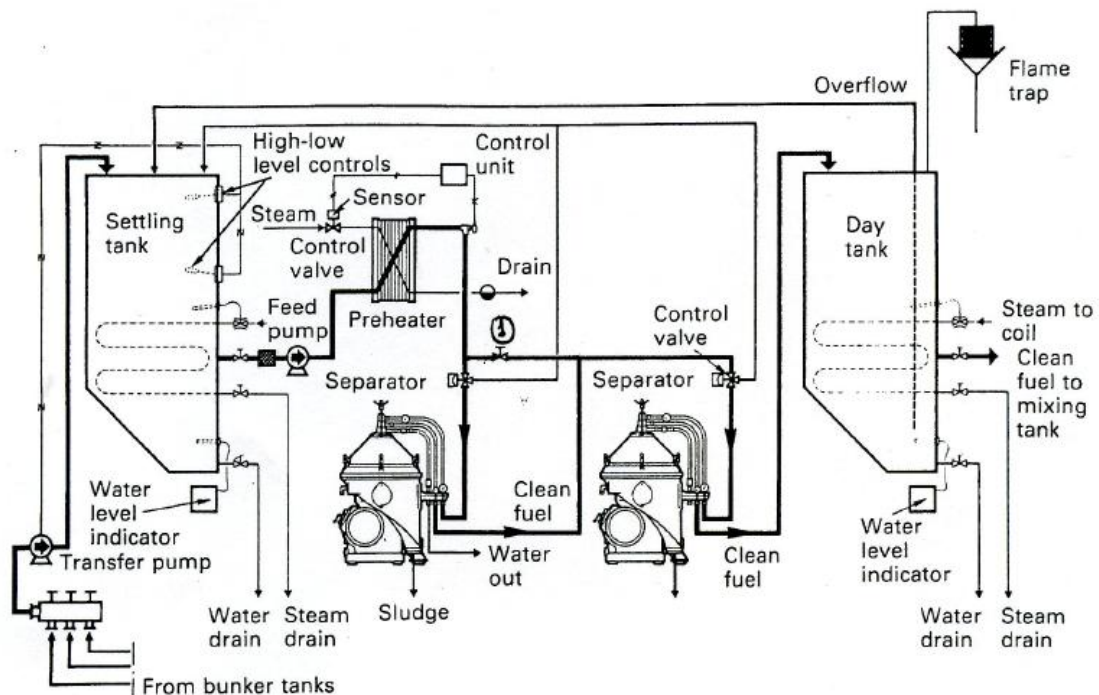


Imagen 59: Esquema operación mixta de depuradoras.

5.4.-Filtros

En los circuitos visto de combustible tanto del remolcador Willy T como del Murillo, los filtros de combustible tienen la misión de retener las impurezas de tipo solido que pueda contener el combustible ya sea el fuel-oil y en menos grado el diesel-oil. Con su acción estos filtros permitirán que elementos como el caudalímetro, viscosímetro y las bombas que conforman el sistema de combustible no puedan sufrir problemas de obstrucción y mal bombeo por culpa de estas impurezas. Además la eliminación de estas sustancias perjudiciales, permitirán que los elementos de combustión e inyección realicen una combustión correcta y sin agente extraños que puedan dañarlos.

En los circuitos comentados anteriormente, los filtros se colocan en las siguientes situaciones repitiéndose en muchos casos y circuitos:

- Después de las tomas de combustible.
- Antes de la admisión de las bombas de trasiego.
- Antes de la admisión de las bombas de alimentación de las depuradoras.
- Antes de la admisión de las bombas de circulación del modulo de tratamiento e combustible.
- Antes de las bombas de alimentación de los módulos de combustible.
- Antes de la admisión al caudalímetro.
- Antes de la admisión al viscosímetro.
- Antes de la admisión a los motores principales y auxiliares.
- Antes de la admisión a las bombas de alimentación de la caldera.
- Antes de los quemadores de la caldera y del incinerador.

- Antes de la admisión del motor de emergencia.

En la gran mayoría hay una gran protección por las bombas de los diversos circuitos, pero también hay protección para la maquinaria y elementos importantes de menor tamaño.

Una vez señalizados en los circuitos, se distinguen dos tipos de filtros, los que retienen partículas de más de $20\ \mu m$ y los que retienen partículas mayores.

- **Filtros para partículas mayores de $20\ \mu m$.** Estos se suelen encontrar en las tomas de combustible y a la salida de los tanques de almacenamiento y servicio diario de combustible. Son para partículas mayores, ya que aun el combustible no accede a elementos donde el tamaño de las partículas puede

provocar problemas. Aun así con este filtrado, se protegen las bombas de los elementos sólidos de trasiego. Estos filtros filtran una gran cantidad de combustible, por lo que son de mayor caudal de admisión.

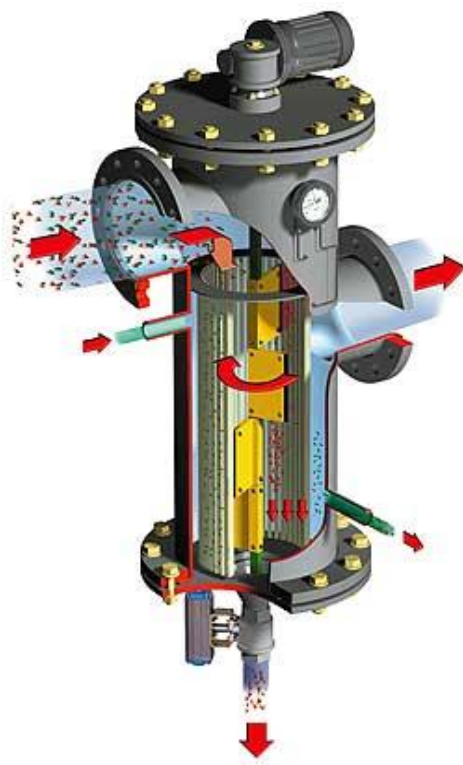


Imagen 60: Funcionamiento filtro.

Su estructura está formada por un envoltorio metálico con una serie de aros de metal muy cercanos entre sí dentro del envoltorio metálico. La distancia entre los discos del filtro, determinará la finura del filtrado de las partículas. Además, se suele incorporar con el filtro, partículas magnéticas para atrapar los agentes de naturaleza metálica que pueda contener el

combustible. El combustible entra por la parte superior, las partículas sólidas quedan atrapadas en los discos metálicos y el combustible sigue su curso. Cada cierto número de horas se deben desmontar para limpiar. Estos filtros no filtran partículas inferiores a $20\ \mu m$, ni agua, ni fangos.

- **Filtros para partículas menores de $20\ \mu m$.** Dentro de este tipo de filtros hay que realizar una segunda clasificación entre los filtros absorbentes y los filtros adsorbentes. Al contrario de los anteriores, estos se acostumbran a cambiar, y se localizan en tuberías de by-pass, o para proteger elementos como el caudalímetro o viscosímetro.
 - **Filtros absorbentes**, eliminan los contaminantes como esponjas. Estos contaminantes son partículas de un tamaño de hasta 3 a $5\ \mu m$. Suelen ser de algodón, papel, aserrín y de lana. También retienen partículas de agua condensada, pero no libran al combustible del agua contenida.
 - **Filtros adsorbentes**, en este caso los sólidos se adhieren a la superficie del material del filtro. Estos materiales pueden ser algodón, papel tratado, etc. Puede filtrar partículas muy pequeñas de menos de $1\ \mu m$ y eliminar aditivos presentes en el combustible de carácter polar, aquellos que presenten cargas eléctricas al disociarse. Estos filtros suelen instalarse por duplicado al igual que los absorbentes y lo más cerca posible de la máquina a proteger. Uno de ellos está funcionando mientras el otro se encuentra en espera o limpiándose. Son filtros muy resistentes al paso de sustancias nocivas. El elemento filtrante se encuentra lleno

de un gran número de pliegues y en forma de estrella para ampliar la superficie de filtrado. Este elemento se sitúa dentro de una malla de acero, para prevenir si se rompe, la fuga de las partículas retenidas previamente. El filtro una vez sucio, se puede reemplazar o limpiar. La limpieza puede ser manual o automática.

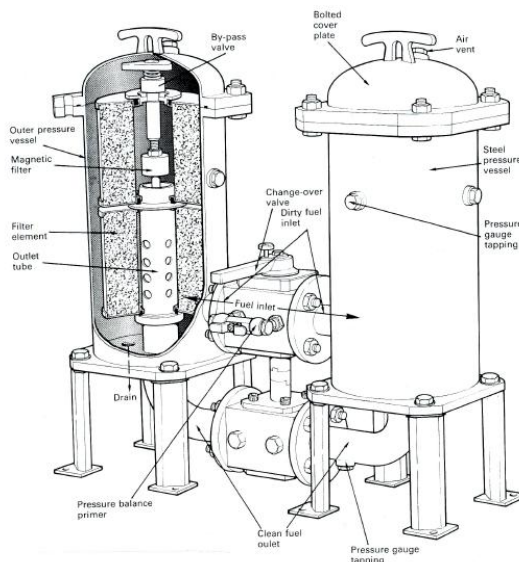


Imagen 61: *Filtro de combustible de doble cuerpo.*

Estos filtros de mayor filtrado, suelen trabajar a temperaturas óptimas de 50 a 70°C. Es importante no excederse de los 150°C, ya que debido a esta alta temperatura el material filtrante puede sufrir desperfectos, y

eliminar su capacidad de filtrado. Si se tiene de filtros en paralelo, es mejor dividir el paso de combustible entre ambos.

5.5.-Intercambiadores de calor

Dentro de este apartado tenemos diferentes intercambiadores instalados por los circuitos de combustible. Por un lado, están los calentadores de combustible del buque Murillo para ajustar la temperatura del fuel en la mayoría de los casos hasta una viscosidad específica para que llegue correctamente al lugar de utilización. En cambio por otro lado tenemos los enfriadores de combustible del remolcador Willy T que se instalarán a la salida de los motores principales del remolcador para refrigerar el combustible que retorna del motor principal.

En ambos casos se produce un intercambio de calor para adaptar el fluido a su circulación y objetivo posterior.

5.5.1.-Enfriadores de combustible

Intercambiador de calor situado en el remolcador **Willy T** en la línea de retorno de combustible de los motores principales hacia los tanques de servicio diario. Si la temperatura de retorno supera el valor límite, el combustible debe pasar por dentro de los enfriadores intercambiado su



calor con agua de mar. Una vez salen del enfriador se dirige hacia los tanques de servicio diario para volver a ser utilizado. En todo momento se controla la temperatura.

Imagen 62: *Enfriador de combustible remolcador Willy-T.*

El enfriador utilizado es un enfriado de dimensiones reducidas y situado al lado de los motores principales. Es un enfriador de placas. Las características de este enfriador son las siguientes:

Modelo	Alfalaval
Tipo	M3-FM 32
Cantidad	2
Capacidad	1,2 m ³ /h
Máxima temperatura fluido	140°C
Máxima presión	10 bar
Calentamiento	12 kW

Tabla 34: *Características enfriador combustible.*

5.5.2.-Calentadores de combustible

Como en la reducción de temperatura de los enfriadores en la línea de retorno del remolcador. En el buque **Murillo** se instalan varios calentadores en la línea de combustible para ajustar la viscosidad del fuel a valores aptos para su flujo. El calentamiento del combustible se llevará a cabo por varios calentadores distribuidos por los circuitos, repartidos de la siguiente forma:

- 2 calentadores en el modulo de las depuradores de fuel-oil.
- 1 calentador en el modulo de la depuradora de diesel-oil.
- 4 calentadores de vapor, instalados en el modulo de alimentación de los motores principales.
- 2 calentadores de vapor, para la alimentación de los motores auxiliares.

En la instalación del Murillo, el calentamiento del combustible se realiza mediante los calentadores enumerados, además de los serpentines y tuberías de seguimiento de vapor que para mantener el combustible a una temperatura constante. Los calentadores comentados son de vapor proveniente de la caldera auxiliar del buque. El caudal de vapor para los calentadores se regula mediante un viscosímetro, que regula la viscosidad del combustible para adaptarla a los valores correctos de utilización. Si la temperatura es demasiado baja y la viscosidad aumenta, el viscosímetro da la orden de abrir más el caudal de vapor. Si la temperatura es excesiva cierra el caudal.

El intercambio e calor puede ser realizado mediante placas o tubos. En ocasiones el calentamiento se puede llevar a cabo mediante resistencias.

5.6.-Viscosímetro

Elemento empleado para medir la viscosidad del combustible. La viscosidad de un fluido se puede medir en unidades absolutas o unidades convencionales. En Gran Bretaña se utiliza el elemento en Redwood nº1 o nº2, y miden directamente la viscosidad en segundos. Solo difiere de cada método, el tamaño de la boquilla a través de la cual pasa el fluido. En Estados Unidos utilizan el Saybolt universal y el Saybolt Furol y en Europa la viscosidad se expresa en grados Engler. Es importante controlar la viscosidad del combustible para quemar en la instalación ya que debe ser compatible con el que ya tenemos almacenado. Durante la circulación dentro del sistema de combustible, hay viscosímetros situados en el módulo de tratamiento de fuel-oil para controlar los parámetros antes de su entrada en los motores principales para tener el combustible en unas condiciones correctas de combustión. En el remolcador Willy T no se dispone de un viscosímetro al quemar combustible diesel, mientras que en el Murillo sí que se utiliza.

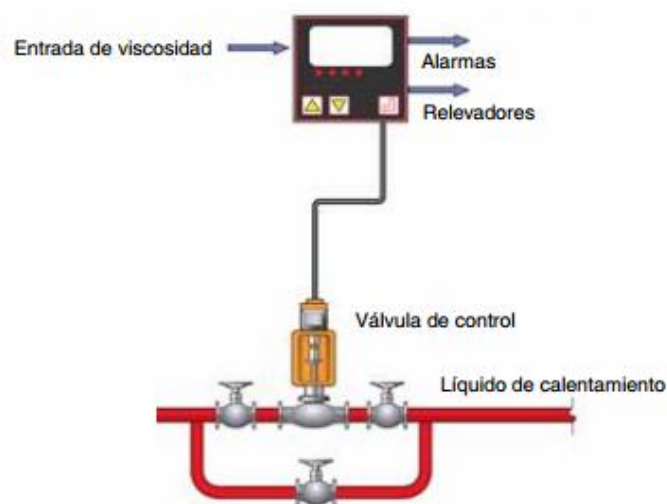


Imagen 63: Instalación viscosímetro línea de combustible.

El viscosímetro utilizado es de la empresa **VAF Instrument** y se trata de un viscosímetro que opera mediante un sensor. Este se constituye de un péndulo de torsión de acero inoxidable.

A través de las frecuencias de resonancia de la torsión del fluido sobre los sensores, dependiendo del fluido esta frecuencia variará sobre los sensores y la lectura que será enviada a un procesador, desde el cual por equivalencia entre frecuencia y su valor en viscosidad, nos dará un valor de la viscosidad que pasa por el cuerpo del viscosímetro.

De dimensiones reducidas en la línea, pasa como desapercibido al tener un aspecto como de válvula. Aguanta temperaturas hasta 180 grados y el valor que obtiene de la viscosidad puede variar en un 2 % del valor real.

IV. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

6.-Prevención de la contaminación

Es uno de los aspectos más importantes en la gestión del funcionamiento de un buque. Ya sea en el mar como en instalaciones de tierra, toda contaminación debe ser erradicada o minimizada para poder llevar a cabo el trabajo de la forma más ecológica y limpia posible.

Los accidentes existen, pero más que poder evitar accidentes, lo que hay que intentar, es concienciar a las personas a cargo de las instalaciones, de las acciones que se pueden llevar a cabo para reducir los accidentes y como mentalizarlas para hacer lo correcto, en el momento correcto. Hay muchos tipos de contaminación que se pueden dar en un buque, por lo que el control de todos estos y el tomar las acciones pertinentes forma parte del mismo desarrollo de la instalación y su mantenimiento. En este punto se desarrollaran dos aspectos claves de una instalación y de un buque como el "Plan de Emergencia a bordo por Contaminación de Hidrocarburos" o como se conoce mejor por "SOPEP (Ship Oil Pollution Emergency Plan)" y por otro lado, se llevará a cabo el cálculo del tanque de lodos para los dos buques de estudio, el remolcador Willy T y el Ro-Ro Pax Murillo.

6.1-Plan de emergencia a bordo por contaminación de hidrocarburos

Como en toda embarcación, el control de la contaminación de cualquier tipo, ya sea por hidrocarburos, basuras u otro elemento nocivo, es de gran importancia. Por lo tanto, hay varios documentos que intentan prevenir, reducir y combatir la contaminación y que son parte fundamental del funcionamiento y desarrollo de la actividad diaria.

La contaminación por hidrocarburos es una de las más perseguidas y controladas ya que a través del paso del tiempo se han ido endureciendo los requisitos para poder evitar cualquier situación como los accidentes y derrames provocados hasta día de hoy. Es una batalla continua y muchos buques siguen intentando evadir tales responsabilidades.

Para tener una guía y conocimiento sobre la contaminación por hidrocarburos hay que hacer referencia al MARPOL 73/78. Este libro imprescindible es el instrumento establecido por la Organización internacional para prevenir la contaminación en el mar. Dentro del MARPOL, encontramos en la regulación 37 del Anexo I que establece la necesidad para ciertos buques de la implementación de un Plan de Emergencia para la Contaminación por Hidrocarburos.

Esta regulación es de obligado cumplimiento para buques tanque de 150 toneladas de arqueo bruto o superior, y para todo buque diferente a buque tanque con un arqueo bruto de 400 GT o superior. Estos buques deben llevar a bordo el SOPEP aprobado por la administración pertinente. Por lo tanto, si comparamos el arqueo bruto para su aplicación, de nuestros buques de estudio hay uno que supera el valor y por lo tanto debe llevar a bordo el plan, pero en el caso del remolcador no es necesario y queda exento de su requerimiento. Aun así no tiene prohibida su aplicación y elaboración, por lo que todo lo comentado sobre el plan, también serán de aplicación sobre el remolcador.

Este plan contra la contaminación de hidrocarburos, también aparece comentado en el Anexo II para contaminación por sustancias nocivas líquidas. En este caso la regulación hace referencia a los buques que

transporten cargas nocivas líquidas con un arqueo bruto de 150 GT o superior. Este plan también debe ser aprobado por la administración.

El Comité de Protección Marítima Medioambiental (MEPC) aprobó y adoptó en su 32ª sesión las directrices para el desarrollo del SOPEP. Estas directrices están presentes en la resolución MEPC.54(32).

Bajo esta regulación, es necesario que los buques con el SOPEP a bordo, lleven consigo un certificado del mismo que puede ser objeto de inspección por los inspectores pertinentes. Estas directrices contienen información sobre la preparación del Plan de Emergencia por Contaminación de Hidrocarburos.

Los objetivos principales del desarrollo de las directrices y el cumplimiento del plan son:

- Asistir a los armadores en la preparación del plan conforme a las regulaciones pertinentes recogidas en el MEPC.54(32) o MEPC.85(44) para sustancias nocivas líquidas.
- Asistir a los gobiernos en el desarrollo de leyes domésticas que de alguna forma obliguen a la implementación de las regulaciones pertinentes sobre dichos planes de prevención de la contaminación.

6.1.1.-Directrices para la elaboración SOPEP

Según la resolución del MEPC.54(32) y la modificación posteriormente en el MEPC.86(44), se establecen las directrices para la elaboración del Plan de Emergencia por la Contaminación de Hidrocarburos. A través de esta resolución se establecen tres puntos clave para el desarrollo del plan. Por un lado, hay una parte de **introducción** donde se definen ciertos conceptos fundamentales para el entendimiento del plan. Se da una vista

general del tema y los conceptos básicos. La segunda parte es la **disposición de obligado cumplimiento** que debe seguir el plan y que se recogen en la resolución comentada. Es una guía sobre los puntos obligados que debe cumplir e incluirse dentro de la elaboración del plan. Por último, y tercer punto, están ciertos **conceptos que no son de obligado cumplimiento** y seguimiento, pero que a través de esta información las autoridades de tierra o la ayuda de mar, pueda dar asistencia adicional al buque en situaciones de emergencia. Es información adicional y que puede ser de ayuda.

Para más detalle vamos a describirlas más ampliamente:

- **Introducción**, en cada buque, el plan será diferente según sus características. A través de estas directrices que se contemplan en el MEPC.54(32), obtenemos una ayuda para elaborar de mejor forma el plan de emergencia y toda su regulación. En definitiva el plan es una herramienta útil para asistir al personal del buque ante una descarga no programada. Debido a esto, habrá que actuar y minimizar el impacto de esta descarga sobre el entorno. Hay que realizar las acciones pertinentes.

Por lo tanto, el plan deberá ser claro, de estructura sencilla, para evitar confusiones, fallos y errores sobre la implementación y actuación sobre situaciones de emergencia. Un retraso en el entendimiento se traduce en un tiempo gastado, lo que da lugar a que el problema se agrave más de lo necesario y pongamos en peligro a seres humanos, carga y el buque en sí. Además, el plan debe ser realista, tanto en el proceso como en las acciones que se puedan realizar con los materiales que hay a bordo. El

entrenamiento sobre el mismo por parte de la tripulación y su evaluación, revisión y actualizado debe ser constante para a la hora de la verdad, todo salga de forma correcta. Por último, debe ser colocado en un lugar conocido y a mano para su observación.

- **Disposición obligatoria**, es la segunda parte de la resolución. Esta a su vez se compone de varios puntos que se comentarán a continuación. Dentro de las disposiciones obligatorias se incluirán las directrices individuales para cada cargo. En la introducción se daba una visión más general, pero en esta segunda parte cada cargo tendrá unas especificaciones únicas de actuación dependiendo de la situación. Por un lado, una vez tenemos un incidente este se debe reportar a los contactos necesarios, ya sea estados costeros, armador, seguros, etc..., el procedimiento de dicha comunicación se deberá incluir en el plan según las directrices de la resolución A.648(16). Una vez tenemos el reporte correcto, debemos comunicarlo, el plan deberá incluir una lista de las diferentes autoridades de contacto y puntos de contacto. De esta forma podremos dar aviso del incidente y coordinar de mejor forma las actividades de prevención. Una vez hemos dado reporte, el mismo plan contiene una descripción de las acciones a tomar por parte de la tripulación de forma inmediata para reducir o controlar la descarga. A la hora de realizar un reporte, el capitán deberá tener en cuenta varios parámetros aportados por el medio o por el personal del buque. Las puntos que el reporte debe contener son:

- ***Si la descarga se ha producido:***

- ***¿Cómo ha sido?***

- ***¿Cuantificación del daño?***

- ***¿Estado de seguridad del buque?***
- ***¿Estado de las personas del buque?***
- ***Localización buque.***
- ***Proximidad a tierra.***
- ***Tiempo.***
- ***Corriente.***
- ***Estado de la mar.***
- ***Tráfico de buques.***
- ***Densidad del tráfico.***
- ***Si la descarga es probable:***
 - ***Naturaleza del fallo.***
 - ***Localización buque.***
 - ***Proximidad a tierra.***
 - ***Tiempo.***
 - ***Corriente.***
 - ***Estado de la mar.***
 - ***Tráfico de buques.***
 - ***Densidad del tráfico.***
- ***Disposición no obligatoria***, es información adicional sobre el buque que puede ofrecer ayuda a la hora de entender mejor y combatir el incidente. Estos documentos pueden ser planos del buque, un inventario de equipamiento de a bordo para combatir la contaminación, el control de ejercicios regulares para mantener a la tripulación presta para actuar y con los conocimientos frescos o información sobre los diferentes combustibles sobre los que se va a combatir. En definitiva es información no obligatoria, pero que normalmente los buques cumplen para así estar en mejores

condiciones para combatir cualquier incidente y frente a las inspecciones.

6.1.2-Puntos de contacto

Parte obligatoria en la realización del Plan de Emergencia de Contaminación por Hidrocarburos. En esta parte se establecen los puntos de contacto de cada país a nivel mundial para cuestiones de seguridad, prevención y lucha contra la contaminación. Los de más interés para cada buque, serán su propia bandera, además de los contactos de los estados costeros por donde este navegando el buque en su ruta. Esta lista se debe actualizar cada cierto tiempo ya que su actualización es continua.

El comité de Seguridad Marítima (MSC) y el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), en 1996 aprobaron la publicación de una circular en la que se refundían las listas de direcciones, números de teléfono y direcciones de correo electrónico de los puntos de contacto a nivel mundial encargados de cuestiones de seguridad y prevención de la contaminación. Esta circular, se ha ido actualizando de forma parcial y se sigue actualizando cuando se recibe nueva información.

Los datos obtenidos hacen referencia a la circular MSC-MEPC.6/Circ.6 del 31 de diciembre de 2009. Esta comprende dos anexos. En el primero aparece una lista de las oficinas centrales y locales de los servicios de inspección y de las autoridades encargadas de cualquier investigación de siniestros.

En el segundo anexo, y que será de mayor importancia para la contaminación, hay la lista de los puntos de contacto operativos encargados de recibir, tramitar y transmitir los informes urgentes de los

buques a los Estados ribereños sobre los sucesos relacionados con sustancias perjudiciales como los hidrocarburos. En definitiva son puntos de contacto para cada buque.

Para llevar actualizados los contactos en el buque y así evitar cualquier error en el momento menos oportuno, en la resolución se invita a los Gobiernos a facilitar cualquier información de cambio o adición que se produzca en los anexos. Esto requiere facilitar las direcciones, números de teléfono, fax y dirección electrónica. De la Circular MSC-MEPC.6/Circ.6 se extraen los siguientes datos del punto de contacto español:

SPAIN

Tel: +34 917 559 132

+34 917 559 133

Fax: +34 915 261 440

Centro Nacional de Coordinación de Salvamento (CNCS)

c/ Fruela 3

28011 Madrid

Idiomas de comunicación: Español e Inglés

Toda consulta sobre la gestión de datos sobre los puntos de contacto nacional hay que dirigirse en relación al anexo 2 a:

División del Medio Marino

4 Albert Embankment

Facsímil: +44 (0) 20 7587 3210

London SE1 7SR

Correo electrónico: nmartini@imo.org

6.1.3.-Formato de informe o llamada

Parte del plan de gran importancia. Una buena comunicación entre los activos a intervenir es necesaria para que el entendimiento sea total y no se produzcan errores de ejecución sobre un problema de por sí grave. A través de la resolución A.851(20), el capitán puede encontrar unas directrices en forma de guía para poder elaborar un informe o llamada de ayuda bien estructurado y con la información requerida para que la otra parte implicada pueda entender la situación del buque y así poder tomar las medidas correctas de contramedida.

Por lo tanto, este informe servirá para intercambiar información mediante radio. El informe deberá seguir ciertas pautas como:

- Deberá contener solo información esencial sobre el problema del buque y del que queremos informar.
- Deberá ser simple y usar el formato y procedimiento elaborado por la Organización Marítima Internacional sobre este tema. Habrá que prestar atención al vocabulario e idioma para mayor entendimiento.
- El informe debe ser lo más escueto posible incluyendo toda la información necesaria, por lo que no debe estar cargado con información nula y que no aporta nada a encontrar una solución.
- El aviso se debe realizar sin retraso en todos los casos, especialmente cuando la seguridad de personas o sustancias contaminantes están incluidas en el informe.
- Antes de informar y como paso inicial hay que recoger toda la información posible sobre el estado del buque y el alcance del problema. Para así facilitar un reporte más completo y aclarador del estado del buque.

- Además de los datos aportados del buque, también hay que hacer referencia a la posición, estado del mar, tráfico naval, etc... Todo cuando se establezca en la disposición obligatoria del plan y que deba ser informado.

El transmitir el informe siguiendo los pasos recogidos en la resolución A.851(20), permitirá a los estados costeros y otras partes interesadas, ser informados sin retraso cuando se produzca el incidente para así actuar conforme a sus interés. El informe además de las partes implicadas, se debe transmitir al estado costero más próximo. Este informe se deberá transmitir si se ha producido descarga de hidrocarburos y también si hay probabilidad de que se produzca por otro problema acaecido a priori. Los informes que se pueden realizar pueden ser de la siguiente índole:

- **Informe de ruta de navegación (SP)**, se realiza antes de partir de puerto.
- **Informe de posición del buque (PR)**, para dar la localización exacta del buque.
- **Informe de desviación de rumbo (DR)**, cuando el buque varía su posición por decisión del armador.
- **Informe de llegada a puerto (FR)**, informe final de la travesía.
- **Informe de pérdida de carga (DG)**, cuando por un incidente se pierde carga que va a parar al mar, como contenedores, vehículos, tanques portátiles, etc...
- **Informe de descarga contaminantes (HS)**, cuando por un incidente se produce o es probable que se produzca una descarga de hidrocarburos o sustancias nocivas líquidas.
- **Informe de contaminación marina (MP)**, informe cuando se ha vertido sustancias contaminantes en el medio marino.

Como se comentaba en una de las pautas, partes del informe que sean inapropiadas ya que no aportada nada esencial, deberían ser omitidas para agilizar el entendimiento de la información y su interpretación. Para facilitar esto, el lenguaje deberá ser inglés, usando en todo lo posible el vocabulario de marino de navegación estándar.

6.1.4.-Acciones y responsabilidades

Una vez tenemos el informe y realizamos la llamada, ya hemos dado parte de nuestra situación y de la magnitud del problema. Para cada situación el personal del buque tiene asignadas tareas específicas de procedimiento para combatir de esta forma el problema que se cierne sobre el buque. Los problemas que pueden ocurrir vienen reflejados en las directrices de la resolución del MEPC.54(32) y se pueden dividir en derrames de hidrocarburos comunes debido a la operación y en derrames de hidrocarburos dados por la casualidad del problema, es decir, como efecto secundario de un problema primario.

Para entender mejor la problemática, se describirán a continuación, una lista de tareas a tener que realizar por el capitán, el primero oficial de puente y el jefe de máquinas. En el remolcador de estudio, la tarea del capitán y del jefe de máquinas queda clara y marcada en la lista de tareas, la tarea del primer oficial, se podría suprimir, o ser realizada por el capitán mismo o por el marinero, que se establece como parte del departamento de puente. En el buque Murillo, las tareas quedan claras para los tres cargos.

- ***Fuga en tubería durante la toma de combustible.*** Hace referencia al derrame de combustible sobre la superficie del mar o puerto durante la operación de combustible, desde tierra o desde un

buque de soporte. También es válida para el derrame de aceite hidráulico desde cualquier maquinaria de cubierta. Las medidas inmediatas a tomar serán parar la operación de combustible y cerrar las válvulas a la línea de fuga, activar la alarma de emergencia y empezar los procedimientos de respuesta sobre la contaminación y por ultimo realizar un informe para dar aviso mediante los procedimientos correctos. Otras acciones de consideración será cerrar la admisión de aire a la sala de máquinas y la acomodación, localizar la fuga y empezar el proceso de limpieza, purgar la línea afectada para que no se derrame más combustible y preparar las bombas portátiles de bombeo para una posible extracción de combustible concentrado. Si el derrame se puede contener a bordo, usar absorbentes para limpiar el producto derramado. Las acciones a tomar por los tres cargos comentados anteriormente son:

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	Parar el flujo de combustible	A cargo de las tareas de limpieza
Informar a los contactos interesados	Localizar la fuga de combustible	Enlaza el trabajo con los equipos de limpieza de tierra
Activar el proceso de limpieza	Asegurar el punto de fuga	Ayuda a la toma de fotografías
Tomar fotografías del incidente	Reparar la fuga	
Adquirir los implicados en la operación de tierra o del buque de servicio	Remover el combustible derramado a una estación de tierra	

Tabla 35: *Acciones a tomar por fuga de combustible en tubería.*

- **Rebose del tanque de combustible durante la toma de combustible.** Este se produce durante la operación de toma de combustible o durante el trasiego de combustible entre tanques. El combustible alcanza máximo nivel del tanque y rebosa por la tubería de rebose sobre cubierta. Cuando esto sucede hay que parar las operaciones de manejo de combustible y cerrar las pertinentes válvulas, activar la alarma de emergencia por derrame e iniciar los procedimientos de respuesta necesarios y proceder con los procesos de informar y llamada. Además se cerraran como en la incidencia anterior, la admisión de aire a la sala de máquinas y acomodación, se reducirá el nivel del tanque en cuestión mediante trasiego o derivando al tanque de lodos, se prepararan bombas portátiles para trasegar a tierra si es necesario y se iniciaran las labores de limpieza. Si se contiene el derrame a bordo, utilización de absorbentes para limpiar la zona afectada.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	Parar el flujo de combustible	A cargo de las tareas de limpieza
Informar a los contactos interesados	Remover combustible del tanque afectado rebajando su nivel	Enlaza el trabajo con los equipos de limpieza de tierra
Activar el proceso de limpieza	Preparar las líneas necesarias para trasegar el combustible a otro tanque	Ayudar al capitán con la delegación de tareas
Tomar fotografías del incidente	Determinar la cantidad de combustible perdido	
Adquirir los implicados en la operación de tierra o del buque de servicio	Tener a mano las especificaciones del combustible	
Asegurar las declaraciones de los implicados	Tener preparado el libro de registro de hidrocarburos	

	Obtener una muestra de combustible del derrame sobre el agua	
	Obtener una muestra de tierra del combustible	
	Dejar en tierra los elementos utilizados para la limpieza de a bordo	

Tabla 36: Acciones a tomar por rebose de combustible desde el tanque.

➤ **Fuga de combustible en el casco.** Se produce durante las operaciones de toma de combustible o durante la estancia en puerto. Cuando se nota sobre el agua alrededor del buque una acumulación de hidrocarburos, y no hay fuga por los incidentes antes descritos, se debe sospechar de una posible fuga de combustible a través del casco. Si se está llevando a cabo operaciones de toma de combustible, se pararan estas y se cerraran las válvulas de la toma, se activaran las alarmas de emergencia y se iniciaran los procesos de respuesta correctos. Por último, proceder con el procedimiento de llamada y comunicación. A continuación, con el equipo de prevención, se localizara la fuente de la fuga y derrame. Se considerara en función de la fuente, el cierre del aire a la sala de máquinas y acomodación. Se reducirá el nivel de los tanques de combustible, trasegando a otros tanques aptos. Si localizamos el tanque o línea de fuga, se considerará la posibilidad de introducir agua para reducir las pérdidas de combustible. Si la fuga está por debajo de la línea de flotación se requerirá la presencia de buzos para inspeccionar y reparar la misma. Si no se localiza la fuente de la fuga, se deberá minimizar la cantidad de combustible en la posible zona de fuga para reducir el derrame de combustible al agua.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	Sondar los tanques de combustible	A cargo de las tareas de limpieza
Informar a los contactos interesados	Anotar la cantidad de combustible a bordo	Enlaza el trabajo con los equipos de limpieza de tierra
Activar el proceso de limpieza	Preparar las líneas para trasegar el combustible a otro tanque	Ayudar al capitán con la delegación de tareas
Tomar fotografías del incidente	Preparar las bombas para realizar una descarga a tierra del combustible	
Adquirir los implicados en la operación de tierra o del buque de servicio	Determinar la cantidad de combustible perdido	
Asegurar las declaraciones de los implicados	Tener preparado el libro de registro de hidrocarburos	
	Obtener una muestra de combustible del derrame sobre el agua	
	Tener a mano las especificaciones del combustible	
	Tener a mano el libro de registro de hidrocarburos	

Tabla 37: *Acciones a tomar por fuga de combustible en el casco.*

Los derrames que se derivan de otro problema primario, es decir, derrames de efecto secundario. El capitán en estos casos tiene la prioridad de interponer la seguridad del buque y del personal e iniciar posteriormente las acciones para que el incidente no se agrave en mayor forma. Si el problema primario incluye un desequilibrio de la estabilidad del buque, la asistencia se obtendrá de tierra a través de la llamada de emergencia e informe de la situación. Los incidentes que pueden causar derrames son:

- **Varada.** Se produce cuando el buque encalla o se obstaculiza su movimiento por algún elemento. Cuando esto ocurre se activa la alarma de emergencia y se inician los procedimientos de respuesta. Se eliminan las posibles fuentes de ignición del buque y se considera el cerrar o no la entrada de aire a la sala de máquinas y la acomodación. Se lleva a cabo una inspección por el buque para determinar la severidad de los daños y situación. Se sondan los tanques, especialmente los de combustible para ver que no haya ninguna fuga y se sonda el suelo marino alrededor del buque para ver la naturaleza del obstáculo. Con las sondas de combustible, se comparan con las de salida de puerto. Si el buque a sufrido daño en el casco, se trasegara el combustible a tanques contrarios al daño para reducir o en el mejor de los casos no permitir el derrame de combustible al mar. Si el riesgo por pérdida de estabilidad o mayor daño en el buque es patente, se esperara a la extracción del combustible mediante otro buque abarloado, por lo que se esperará a la ayuda de tierra para realizar alguna acción comprometida.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	A cargo del control de daños del buque y reparación	Realizar primeros auxilios a la tripulación y pasaje que lo requieran
Informar a los contactos interesados	A cargo del trasiego de agua de lastre y combustible	Asegurarse que el personal de limpieza por derrame este equipada con el equipo adecuado
Activar el proceso de limpieza	Una vez finalizadas las tareas de limpieza, derivar los materiales a tierra	A cargo de las tareas contra la contaminación
Tomar fotografías del incidente	Sondar los tanques de combustible	A cargo de la estabilidad del buque

Adquirir los implicados en la operación de tierra o del buque de servicio		A cargo del sondaje del fondo marino alrededor del buque
Asegurar las declaraciones de los implicados		Determinar el estado de la marea
		Sondar los tanques de agua

Tabla 38: *Acciones a tomar por varada.*

- **Fuego o explosión.** Este incidente es uno de los más alarmantes en un buque, por lo que implicará un mayor grado de compenetración entre la tripulación. Cuando se produzca el incidente se activará la alarma de incendios y se desplegarán los equipos de lucha contra incendios siguiendo los procesos de emergencia establecidos. Se determinará la extensión del daño y se decidirán las acciones de control a realizar. Requerir ayuda inmediata y asistencia por parte de otra embarcación y estación de tierra. Informar de la posibilidad de contaminación por fuga de combustible. Si el fuego está cerca de las líneas de combustible y del posible derrame informar de acuerdo a los requisitos del plan.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	A cargo del control de daños del buque y reparación	Realizar primeros auxilios a la tripulación y pasaje que lo requieran
Informar a los contactos interesados	A cargo del trasiego de agua de lastre y combustible	Asegurarse que el personal de limpieza por derrame y de lucha contra incendios este equipada con el equipo adecuado
Activar el proceso de limpieza	Una vez finalizadas las tareas de limpieza, derivar los materiales a tierra	A cargo de las tareas contra la contaminación
Tomar fotografías del incidente	Sondar los tanques de combustible	A cargo de la estabilidad del buque

Adquirir los implicados en la operación de tierra o del buque de servicio		
Asegurar las declaraciones de los implicados		
Dirigir las operaciones de lucha contra incendios		

Tabla 39: *Acciones a tomar por fuego o explosión.*

➤ **Colisión.** Se producirá cuando el buque impacte de forma visible contra otro buque o elemento terrestre. Si la colisión se produce, se activa la alarma de emergencia y se inician los procedimientos oportunos. Determinar cuál es la naturaleza del impacto. El capitán decidirá si la separación del buque con el otro objeto puede incrementar el derrame y los años. Si cualquier tanque de combustible es penetrado, hay que reducir el riesgo de derrame y aislar el tanque transfiriendo todo el combustible posible a los otros tanques intactos. Comunicar la situación para ayuda externa según los requerimientos del plan.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	A cargo del control de daños del buque y reparación	Realizar primeros auxilios a la tripulación y pasaje que lo requieran
Informar a los contactos interesados	A cargo del trasiego de agua de lastre y combustible	Asegurarse que el personal de limpieza por derrame este equipada con el equipo adecuado
Activar el proceso de limpieza	Una vez finalizadas las tareas de limpieza, derivar los materiales a tierra	A cargo de las tareas contra la contaminación
Tomar fotografías del incidente	Sondar los tanques de combustible	A cargo de la estabilidad del buque
Adquirir los implicados en la operación de tierra o del buque de servicio		

Asegurar las declaraciones de los implicados		
--	--	--

Tabla 40: *Acciones a tomar por colisión.*

- **Fallo estructural del casco.** Si el buque sufre daños en la estructura y disposición del casco, se activara la alarma de emergencia y se reunirá a la tripulación. Se intentará reducir o parar los esfuerzos a los que está sometido el casco y se evaluará el peligro de hundimiento del buque. El capitán deberá evaluar la posibilidad de contaminar la superficie del mar, si por motivos de estabilidad, es necesario el derrame de combustible alrededor del buque para estabilizar el movimiento del buque y así reducir su movimiento y esfuerzos. También se realizarán los cálculos pertinentes sobre la estabilidad para conseguir un valor óptimo y de esta forma reducir en lo posible el esfuerzo sobre la zona afectada. Hay que tener en cuenta el estado del tiempo y de la mar.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	A cargo del control de daños del buque y reparación	Realizar primeros auxilios a la tripulación y pasaje que lo requieran
Informar a los contactos interesados	A cargo del trasiego de agua de lastre y combustible	Asegurarse que el personal de limpieza este equipada con el equipo adecuado
Activar el proceso de limpieza	Una vez finalizadas las tareas de limpieza, derivar los materiales a tierra	A cargo de las tareas contra la contaminación
Tomar fotografías del incidente	Sondar los tanques de combustible	A cargo de la estabilidad del buque
Adquirir los implicados de tierra o del buque		

Tabla 41: *Acciones a tomar por fallo estructural del casco.*

- **Escora excesiva.** Esto se puede producir por varios motivos, como un fallo en el casco, fallo de compartimentado entre mamparos, corrimiento de carga, inundación de la sala de máquinas, daño por colisión o varada o por operaciones incorrectas de carga. Si esto ocurre y la escora se acentúa, hay que parar las operaciones de lastre o combustible, activar la alarma de emergencia y reunir a la tripulación en los puntos correctos, parar la máquina o reducir la velocidad y establecer las razones posibles de la escora. Como medidas se sondaran los tanques y se compararan con las tomadas al salir de puerto, si es necesario se derramara combustible alrededor del buque para ayudar a la estabilidad del buque y ver si es posible corregir y rectificar la situación.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	A cargo del control de daños del buque y reparación	Realizar primeros auxilios a la tripulación y pasaje que lo requieran
Informar a los contactos interesados	A cargo del trasiego de agua de lastre y combustible	Asegurarse que el personal de limpieza por derrame este equipada con el equipo adecuado
Activar el proceso de limpieza	Una vez finalizadas las tareas de limpieza, derivar los materiales a tierra	A cargo de las tareas contra la contaminación
Tomar fotografías del incidente	Sondar los tanques de combustible	A cargo de la estabilidad del buque
Adquirir los implicados en la operación de tierra o del buque de servicio		
Asegurar las declaraciones de los implicados		

Tabla 42: *Acciones a tomar por escora excesiva.*

- **Hundimiento.** Si el buque se está hundiendo, se activa la alarma de emergencia y se inician los procedimientos de respuesta. Se cierra cualquier toma de fondo del buque y se inician las acciones para reducir o parar la admisión de agua al buque. Se arrancan las bombas de sentinas y se colocan las bombas portátiles del buque para evacuar el agua. Se reduce o se para la velocidad del buque para evitar esfuerzos al casco del buque. Se evalúa la posibilidad de hundimiento total a través del agua entrante y la evacuada. Se lleva a cabo una inspección visual del daño sufrido y se sonda alrededor del buque para determinar la naturaleza del daño y la posibilidad de tocar fondo con el hundimiento. Se tendrá en cuenta la posibilidad de contaminación alrededor del buque para suavizar los esfuerzos sobre el casco, se sondaran los tanques de combustible y agua de lastre para ver si hay alguna pérdida a parte de la vía de agua, las sondas se compararan con las tomadas a la salida de puerto, se establecerán las causas del hundimiento y se intentaran rectificar para voltear la situación.

Capitán	Jefe de Máquinas	Primer Oficial de puente
Informar a las autoridades costeras	A cargo del control de daños del buque y reparación	Realizar primeros auxilios a la tripulación y pasaje que lo requieran
Informar a los contactos interesados	A cargo del trasiego de agua de lastre y combustible	Asegurarse que el personal de limpieza por derrame este equipada con el equipo adecuado
Activar el proceso de limpieza	Una vez finalizadas las tareas de limpieza, derivar los materiales a tierra	A cargo de las tareas contra la contaminación
Tomar fotografías del incidente	Sondar los tanques de combustible	A cargo de la estabilidad del buque
Adquirir los implicados de tierra o del buque		Sondar alrededor del buque

Asegurar las declaraciones de los implicados		Determinar el estado de la marea
		Sondar los tanques de lastre

Tabla 43: *Acciones a tomar por hundimiento.*

6.1.5.-Inventario

En este punto se recogerán los elementos que se tienen a bordo para hacer frente a una situación de contaminación marina y poder reducir o prevenir en la mayor rapidez posible el derrame. En muchos buques esta materia no es suficiente para hacer frente a un derrame de grandes magnitudes o de cierta importancia, por lo que se reduce a una simple medida de contención para obtener ayuda externa por parte de los equipos de tierra o de otro buque. Como se había comentado al inicio del punto de prevención y lucha contra la contaminación, el remolcador Willy T no está obligado a llevar e implementar el Plan de Emergencia por Contaminación por Hidrocarburos, pero como siempre es necesario ser precavido, a parte de la información anterior tanto de reporte como de acciones a realizar durante las incidencias, deberá llevar a bordo un recipiente del plan donde se guardarán elementos de contención contra derrames de pequeña magnitud pero que podrán ayudar a solucionar o contener problemas que sin estos materiales provocarían un derrame en el puerto con su gravedad anexada. Por lo tanto, el recipiente necesario deberá contener de forma aproximada:

- 15 m² de calcetines para recuperación de hidrocarburos.
- Absorbente orgánico
- Mantas absorbentes
- Cintas de señalización (negra y amarilla)

- Bolsas para eliminación con corbatillas de cierre
- Instrucciones de uso
- Escobas
- Recogedores
- Lista con los puntos de contacto



Imagen 64: Bidón SOPEP para remolcador Willy-T.

En el caso del buque Murillo, sí que es obligatorio el implementar el Plan de Emergencia de Contaminación por Hidrocarburos. En este caso la cantidad de materiales requeridos es mayor y se sitúan en compartimientos separados:

- Barreras grandes de contención
- Barreras medianas de contención
- Guantes aptos para la recogida de combustible
- Gafas de protección contra el combustible
- Palas de recogida
- Bolsas grandes de basura resistentes
- Equipos completos contra derrames de combustible

- Almohadas absorbentes
- Alfombrillas absorbentes
- Rollos de absorbente
- Cinta absorbente

6.2.-Tanque de lodos

Como segundo punto de la parte de prevención y lucha contra la contaminación se describirá y calculará la capacidad del tanque de lodos de las embarcaciones de estudio, el remolcador Willy T y el Ro-Ro Pax Murillo. Ambos buques disponen de tanques de lodos, aunque difieren en tema de dimensiones y operación de descarga. El tanque de lodos, es un almacén de residuos que provienen en parte de la depuración del combustible, tanques almacén, servicio diario, decantación, aceites usados, restos de fluido lubricante, las diversas purgas y bandejas del circuito, etc...

En buques pequeños como el remolcador, verter ciertos fluidos en el tanque se puede realizar mediante un orificio en la parte superior del tanque, donde mediante un embudo accedemos a su interior. De la descarga del tanque de lodos, podemos enviar su efluente a:

- **Tanques de recepción en tierra**, mediante una instalación MARPOL en tierra. Esta puede ser móvil como un camión bomba o puede estar fija en el puerto, y a través de una conexión rápida en el caso del remolcador o de tuberías de mayor diámetro en el caso del buque Murillo, podemos descargar el residuo a tierra cumpliendo con la normativa de contaminación.
- **Incinerador**, es una parte de los buques, que no se utiliza en gran medida ya que su quema produce contaminación atmosférica con

los humos y elementos contaminantes que se desprenden. La quema está prohibida en ciertos espacios, por lo que en muchos buques el incinerador suele estar inhabilitado. En el caso del remolcador no disponemos de incinerador, pero en el buque Murillo si, por lo que es una alternativa más para poder eliminar estos residuos generados.

- **Tanques de decantación**, conectado con el tanque de lodos mediante una manguera con válvula de no retorno y de cierre. En la parte superior el tanque está conectado a un sifón. Es una medida parcial, ya que al final hay que descargarlo.

De la descarga del tanque de lodos, se acoplará una tubería hacia una instalación de tierra ya sea en forma de depósito receptor o camión bomba, por lo tanto, el buque deberá estar provisto de una conexión universal de acuerdo con las tomas de tierra. Las dimensiones se describirán en el siguiente punto. De esta forma, el tipo de conexión estará normalizada en los diferentes puertos de escala que pueda sufrir el buque a lo largo de su vida útil.

Según la regulación 12 del Anexo I del MARPOL 73/78, todo buque de 400 toneladas de registro bruto y superior, deberá ser provisto de un tanque o varios tanques de lodos, con capacidad adecuada según su misión y tipo de ruta. Se tendrán en cuenta además aspectos relacionados con el tipo de maquinaria y longitud de la navegación. De esta forma podremos realizar las travesías sin ningún problema de capacidad y realizar la descarga en el puerto de acorde a la ruta. Estos tanques dispuestos de lodos, estarán instalados y contruidos de manera que se facilite su limpieza cuando toque y su descarga de residuos cuando sea necesario.

Los lodos, deberán ser descargados desde el tanque de lodos a través de una toma de descarga normalizada siguiendo las pautas de Anexo I, o mediante otro sistema aprobado. Este tanque deberá estar provisto de una bomba de extracción adecuada para llevar a cabo su función de forma correcta y sin insuficiencias. También el tanque no deberá estar provisto de una descarga a sentinas, ni a ningún otro tanque y maquinaria no aprobada.

Las tuberías que salen del tanque de lodos y de admisión del mismo no deben estar conectaos directamente al exterior, sino es mediante la descarga estándar y normalizada de descarga a tierra.

Las tareas de limpieza y descarga para buques anteriores al 31 de diciembre de 1979, deben adquirir la mayor facilidad posible dentro de sus posibilidades constructivas.

En el caso del remolcador Willy T, dispondrá de un solo tanque de lodos, de dimensiones pequeñas debido a su función. El tanque se sitúa en el centro de la embarcación, en la parte inferior del tecele de la sala de máquinas. Se encuentra al lado del tanque de aceite sucio y del tanque séptico entre las cuadernas 32 y 34 del buque. En el caso del Murillo, dispondremos de dos tanque de lodos de dimensiones iguales situados en la cámara de máquinas para reunir los efluentes que no se puedan eliminar. Uno de los tanques se sitúa entre la cuaderna 78 y 88; el segundo entre la 88 y 97.

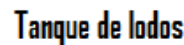


Imagen 65: Localización central del tanque de lodos.

6.2.1.-Dimensiones conexión a tierra de descarga

Según el Anexo I del MARPOL 73/78 capítulo III regulación 13, se establecen las dimensiones de la descarga internacional de efluentes procedentes del tanque de lodos. Esta regulación se establece para facilitar las conexiones entre tuberías de diferente procedencia, es decir entre buques e instalaciones de tierra. De esta forma podemos descargar los residuos de abordó, a través de esta conexión y agilizar la descarga. La toma de descarga será construida según los siguientes datos constructivos:

Parámetro	Dimensión
Diámetro exterior	215 mm
Diámetro interior	En relación al diámetro exterior de la tubería.
Diámetro de los tornillos	183 mm
Ranuras en la brida de la toma	6 agujeros de 22 mm de diámetro situados de forma equidistante en

	la brida. El ancho de la ranura deberá ser de 22 mm.
Grosor de la brida	20 mm
Tornillería	6 tornillos y tuercas de 20 mm de diámetro y suficiente longitud para traspasar la conexión entre bridas.

Tabla 44: Dimensiones conexión a tierra descarga lodos.

La brida se diseña para aceptar la conexión de tuberías con un diámetro interior máximo de 125 mm, pudiendo ser estas de materiales dispares como acero o equivalente. La brida junto con la junta, debería ser suficiente para trabajar a presiones de 6 bar.

6.2.2.-Cálculo de la dimensión del tanque de lodos

Es importante tener un buen dimensionados de los diferentes tanques del buque ya que un cálculo mal realizado puede dejarnos sin un elemento vital para seguir la misión del buque, o falta de espacio para almacenar elementos, los cuales no nos podemos deshacer de él, sin provocar un problema mayor. Para el dimensionado de los tanques de lodos, hay que recurrir al convenio MARPOL 73/78. Exactamente en la regla 15 del Anexo I sobre tanques para residuos de hidrocarburos-Fangos.

Esta regla, especifica las ecuaciones que hay que adoptar para calcular las dimensiones según ciertas especificaciones. Esto es utilizado según la administración, para determinar la capacidad adecuada que debe tener el tanque o los tanques, siguiendo ciertos datos de criterio como guía. En definitiva estos criterios nos darán la estimación de residuos que se produce en el buque, por lo que a través de ciertos parámetros obtenemos la misma conclusión. Hay diferentes formas de cálculo

dependiendo de la disposición del buque, las posibilidades son las siguientes:

- Para buques que no llevan agua de lastre en los tanques de fuel, la capacidad mínima se calculará mediante,

$$V_1 = K_1 \cdot C \cdot D$$

Donde K_1 es un coeficiente que depende del combustible utilizado y su purificación, C es el consumo diario de combustible y D es el periodo máximo de viaje entre descarga y descarga. Si no se precisa una cantidad se establecen 30 días. El cálculo se puede realizar con consumo en toneladas o m^3 . En ambos casos cambiaran los coeficientes dependiendo de la medida utilizada.

- Para buques con homogenizadores, incinerador de lodos u otro método para controlar a bordo los residuos. La capacidad mínima de los tanques de lodos vendrá expresada según el arqueo bruto del buque en cuestión pudiendo ser de 1 o 2 m^3 . En el caso del Murillo, como el incinerador está inhabilitado, no podremos utilizar este método.
- Para buques que llevan agua de lastre en los tanques de fuel, la capacidad mínima de los tanques de lodos debe ser calculada según,

$$V_2 = V_1 + K_2 \cdot B$$

Se calcula en m^3 y V_1 hace referencia al volumen calculado a partir de los dos métodos anteriores, sumándole la segunda expresión donde K_2 es un parámetro entre dependiendo del combustible

utilizado y B es la capacidad de agua de lastre que se puede cargar en los tanques combustible.

En el caso de los dos buques de estudio, al ser buques contruidos posteriormente al 31 de diciembre de 1990 y que no lleven agua de lastre en los tanques de fuel-oil, la capacidad mínima de los tanques de lodos se calculara con el primer método comentado y a través de la siguiente expresión:

$$V_1 = K_1 \cdot C \cdot D$$

En el caso del remolcador Willy T, al ser un buque de puerto durante su operación, tiene condiciones especiales sobre la descarga del tanque de lodos, ya que como en buques de línea regular se les permite alargar su descarga después de varios viajes. Si juntamos el consumo de los motores principales y auxiliares funcionando estos durante 20 horas al día en consumo medio-elevado tendríamos un consumo medio de 400 l/h. Las 20 horas se produciría en funcionamientos extremos con un gran tráfico de buques, aunque siempre el buque debe estar preparado para este tipo de situaciones. Como la descarga de lodos no está sujeta a un periodo de días determinado, sino que solo debemos apuntarlo en el registro de hidrocarburos como descarga y datos de interés cada vez que se realice, estableceré el periodo de descarga en 30 días, aunque este normalmente es menor por precaución. Como el buque utiliza Diesel-oil, el coeficiente K_1 , será igual a 0,005. El valor total del tanque de lodos del **remolcador Willy T** será el siguiente:

$$\text{Consumo} : 400 \frac{l}{h} = 0,4 \frac{m^3}{h}$$

Si trabaja durante 20 horas al día durante día de tráfico.

$$\text{Consumo diario}(C): 0,4 \frac{m^3}{h} \times 20 h = 8 m^3$$

Como el combustible es diesel-oil, $K_1 = 0,005$ ya que el combustible no haría falta purificarlo. Su purificación es como previsión.

Por último, y como ya se había tomado, la duración máxima por imprecisión será de **30 días**.

$$\text{Volumen tanque lodos} = K_1 \cdot C \cdot D = 0,005 \cdot 8 m^3 \cdot 30 = 1,2 m^3$$

En el buque Murillo como había comentado tenemos dos tanques de lodos situados en grupos de cuadernas consecutivas. Es un buque de línea regular, por lo que también tendrá un régimen especial para la descarga del tanque de lodos en puerto y no deberá realizarlo en cada viaje. Se utilizará el mismo método para el cálculo ya que no se llenan los tanques de combustible con agua de lastre. El valor que surgirá será total, es decir de los dos tanques con la misma capacidad. Con diferencia al remolcador el buque Murillo si utiliza fuel-oil, por lo que el coeficiente cambiará.

$$\text{Consumo motor principal} : 940 \text{ kg/h}$$

$$\text{Consumo motor auxiliar} : 226 \text{ kg/h}$$

Los cuatro motores principales trabajaran durante 16 horas completando dos viajes, mientras que los tres motores auxiliares irán intercalándose durante las diferentes operaciones trabajando 24 horas en total.

$$\text{Consumo diario total } (C): \text{motores principales}$$

$$+ \text{motore auxiliares} = 60.000 \text{ kg} + 6.000 \text{ kg}$$

$$= 66.000 \text{ kg} = 66 \text{ t}$$

En este valor de consumo están el fuel-oil y diesel-oil ya que ambos se purificarán en su módulo correspondiente de purificación. Como el combustible de los principales es fuel-oil y el cálculo se realizará con el consumo en t , el coeficiente $K_1 = 0,01$ ya que el combustible hace falta purificarlo.

Por último, la duración de los viajes es de 8 horas, pero al ser línea regular estableceré como periodo límite el de 30 días entre descargas.

$$\text{Volumen tanque lodos} = K_1 \cdot C \cdot D = 0,01 \cdot 66 t \cdot 30 = \mathbf{19,8 m^3}$$

Aunque el consumo sea en t , el volumen se expresa en m^3 . Como el buque dispone de dos tanques de lodos, en este caso cada tanque será de la misma capacidad pudiendo albergar un total conjunto de $40 m^3$ aproximadamente. Lo normal es realizar la descarga de lodos cuando alguno de los tanques supera el 60% de su capacidad.

V. MANTENIMIENTO

7.-Introducción al mantenimiento

Podemos definir de forma breve y como inicio de este punto el concepto de mantenimiento relacionado con los buques y sus instalaciones, como el conjunto de técnicas destinadas a conservar y gestionar equipo e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible para encontrar la más alta disponibilidad y el máximo rendimiento de funcionamiento. Visto de esta forma, en el caso de los jefes de máquinas de los diferentes buques de la marina mercante, es lo que intentan encontrar e intentan que pase. Para ello, hay que idear o seguir una estrategia o plan óptimo establecido por la misma empresa o por uno mismo dependiendo del grado de libertad que uno tenga para gestionar el mantenimiento.

La gestión del mantenimiento conlleva varios aspectos que debe administrar el responsable en cuestión como es el jefe de máquinas de un buque y saber transmitir el trabajo a realizar a su departamento. Por lo tanto, hay que prestar atención a la organización de las tareas y las funciones de cada uno del departamento; tener clara la programación establecida y cumplir con las fechas pertinentes; utilizar los métodos establecidos ya sea por los manuales pertinentes o por procedimientos establecidos por la misma empresa o fabricante; seguir las normas de seguridad y utilización de la maquinaria pertinente para no cometer errores de magnitud que pueden afectar al curso de la gestión del mantenimiento y por último, controlar y mejorar dicha gestión incluyendo un concepto muy importante como el coste de la gestión y de los repuestos.

A través de los conceptos comentados, el departamento de mantenimiento de un buque donde intervienen todas las personas ya sean

de puente o de máquinas, se intenta alcanzar la máxima fiabilidad posible de los equipos, con el menor número posible de averías y realizando los análisis pertinentes para que los dos puntos anteriores se cumplan perfectamente. Para ejecutar y gestionar el mantenimiento de un buque, hay que reunir los conocimientos pertinentes sobre los diferentes elementos que se incluyen dentro del ámbito de trabajo. En este punto del trabajo se dará una visión del mantenimiento a realizar sobre diferentes elementos de los circuitos comentados como, válvulas, bombas, depuradoras, filtros e intercambiadores de calor. En definitiva los elementos más representativos del circuito.

Para realizar el mantenimiento, podemos encontrarnos con diferentes modelos de gestión, tanto sobre toda la instalación como sobre cada elemento en cuestión. Tenemos tres tipos generalizados:

- **Mantenimiento correctivo**, con este se corrigen las fallas observadas en el equipamiento o instalación una vez ya han ocurrido, por lo que se basará en localizar la averías para corregir o repararlos. Es el mantenimiento más básico y que se puede utilizar en el caso de los tubos fluorescentes de la sala de máquinas como ejemplo. No hay un avance a la avería, sino que se espera que se produzca para actuar sobre el mismo.
- **Mantenimiento preventivo**, el objetivo final es la conservación de los equipos o instalación mediante la realización de revisiones y reparación de los mismos si se requiere. Este mantenimiento se suele realizar con el elemento aun en funcionamiento, no cuando este está dañado o dejan de funcionar. Lo importante es mitigar los fallos y prevenir que estos ocurran para no producir unos costes

mayores por pérdida o fallo. El mantenimiento preventivo debe evitar los fallos en el equipo, antes de que estos ocurran. Un ejemplo sería a través de un plan de mantenimiento, controlar las horas de funcionamiento de cada maquinaria y cambiar los elementos pertinentes cuando se cumplan las horas establecidas.

- **Mantenimiento predictivo**, el tercero a describir está basado en la determinación del estado de la máquina. Este concepto versa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de su falla y es en estos síntomas, en los que se basa el mantenimiento para tomar acciones predictivas. Esto incluye análisis de aceite, desgaste, partículas, vibraciones, etc... Todo nos dará el estado de la maquinaria y así poder actuar en consecuencia.

7.1.-Válvulas

Es el elemento mayoritario en número dentro de los diferentes circuitos de combustible comentados de los buques de estudio. Su mantenimiento en servicio en el buque, suele estar limitado a apretar los tornillos de unión entre el bonete y el cuerpo, aunque en casos de emergencia se pueden instalar nuevos anillos de empaquetadura. La gran variedad de válvulas y fabricantes hace necesaria seguir y tener en cuenta a la hora de mantener las válvulas, la guía de mantenimiento proporcionada por el fabricante, para sacar de las válvulas del circuito su máximo rendimiento.

Reemplazar una válvula que se encuentra en servicio, es siempre una operación de cierto peligro y que debe realizarse de forma ordenada. El mantenimiento sobre una válvula de una tubería, aunque esta tubería este fuera de servicio, solo se realiza en circunstancias de probabilidades bajas. Este mantenimiento sobre la misma línea esta limitada por el diseño

de la válvula, ya que es mucho más conveniente desmontar toda la válvula y montar una nueva de repuesto que empezar a realizar tareas de mantenimiento sobre la extraída, aunque su diseño permita realizar pequeñas reparaciones in situ en su lugar de trabajo. Si esta operación de mantenimiento sobre la válvula no se realiza correctamente, podemos provocar un problema mayor y por lo tanto, tener un foco de problemas en las tuberías del circuito, lo que acarreará un funcionamiento errático y mayores costes.

Si la válvula tiene ciertas dimensiones, si que se le puede dar servicio en su mismo emplazamiento ya que puede ser costoso por sus dimensiones transportarla hasta un taller pertinente. Este tipo de válvulas suelen ser de compuerta o globo, retención, macho, bola de entrada superior y diafragma. Sobre estas y sin tener que desmontarlas se pueden corregir problemas de asentamiento, cambio de discos o sellos de asiento. Para alguna de estas válvulas, se requiere del uso de una máquina especial por lo que no siempre se dispone de dicha maquinaria en los buques y al final sale más a cuenta cambiar la válvula en cuestión e intentar repararla o acondicionarla nuevamente en un taller especializado o en el taller del mismo buque si se dispone de las herramientas y el material necesario, y si la reparación sale a cuenta por los intereses del buque en términos de costes.

Debido a la necesidad de realizar un trabajo preciso en la rectificación de asientos o cambios de disco, la posibilidad de realizar un trabajo y mantenimiento defectuoso se amplifican. Por eso hay que destacar las reparaciones en el taller, fuera de la misma tubería. El mantenimiento periódico en las válvulas es igual de importante que en otra parte del

sistema y sobre otro elemento diferente. Esta inspección se resumirá en la inspección de fugas en el vástago, apretar las tuercas que se hayan podido aflojar ya sea del cuerpo como de las bridas de conexión, mantener lubricado el vástago y eliminar el oxido que pueda ir apareciendo o cualquier suciedad que se adhiera a la válvula y vástago. Llevar a cabo el desmontaje de la válvula de la tubería para llevarla a un taller tiene sus ventajas frente a la reparación en la misma línea.

- Por un lado, una instalación no se puede permitir la **pérdida de tiempo de funcionamiento**. De esta forma, es mejor colocar una válvula de repuesto y luego iniciar las reparaciones pertinentes sobre la extraída.
- La **calidad de la reparación**, es mejor en taller donde no tenemos la presión y necesidad de dejar la instalación operativa en el menor tiempo posible. Además, se podrá inspeccionar de mejor forma y con más precisión teniendo acceso a todas las superficies.
- Se puede probar la **hermeticidad del asentamiento** de la válvula, lo cual es difícil si la válvula está instalada en la tubería.

Por lo tanto, en el taller podemos realizar mantenimientos de una forma más precisa. En el caso de las **válvulas de compuerta, globo y retención** que figuran en los circuitos vistos, podemos llevar a cabo la rectificación de los asientos y de los discos. El reacondicionamiento de los discos se puede llevar a cabo con el relleno de las superficies de los asientos con metal de soldadura o revestimiento. Los tornillos de la válvula y las tuercas, también se deben inspeccionar ya que son parte del importante para la hermeticidad del cuerpo de la válvula y la acción de la corrosión, puede hacer mella en su funcionamiento. Con todo lo otro, también se le puede instalar nuevos anillos de asiento si la inspección lo requiere, pero

en este caso la reparación resultaría costosa, por lo que hay que ver las consecuencias de tal mantenimiento y si es indispensable.

El tamaño de las válvulas será de especial interés para debatir su posibilidad de realizar mantenimiento exhaustivo. Ya que normalmente las de menor dimensión y simples, requieren de un mantenimiento en los sellos del vástago. Si la válvula es más elaborada y de mayor diámetro, los mantenimientos serán mayores ya que la sustitución es más costosa.

Los mantenimientos sobre las válvulas estarán sujetos también al tipo de material del cual estén construidas, por lo que la reparación en válvulas de acero inoxidable es muy similar al de acero al carbono. Aun así en el acero inoxidable se debe evitar la soldadura ya que si el líquido que pasa por la válvula, es corrosivo, puede atacar el material de la válvula, provocando daños mayores a la solución. Para este tipo de mantenimiento con soldadura, podemos vernos obligados a utilizar procesos de cocción y enfriamiento específicos. Esto no se puede realizar en un buque, pero si en un taller de tierra teniendo en cuenta los costes.

En las **válvulas de macho lubricadas**, podemos reparar y rectificar el cuerpo de la válvula o macho. Pero no es fácil encontrar el equipo de precisión para rectificar estas piezas y además el coste de las mismas no resulta económico. En el caso de las **no lubricadas** hay que reemplazar la camisa de teflón, la empaquetadura, las juntas y el macho en ciertos casos.

En las **válvulas de mariposa** el mantenimiento se basa en la sustitución del vástago, el disco y la camisa. No siempre se necesitan discos nuevos de cierre, pero hay que cambiar los sellos o empaquetaduras si estos están gastados para mantener la estanqueidad.

Es importante iniciar la fase de mantenimiento desde la fase de diseño, por lo que, es el fabricante quien inicia este proceso. Si las especificaciones de la válvula son las correctas, si están fabricadas con los materiales provistos y si están bien instaladas con espacio suficiente para su manipulación, los problemas durante su funcionamiento deberían ser mínimos. Posteriormente el gestor de dicha válvula cuando está instalada en una instalación, deberá pensar que tipo de mantenimiento que quiere realizar. Si tiene espacio y la maquinaria correcta para realizar sustituciones y reparaciones, deberá tener repuestos en su inventario, en cambio si no dispone de lo necesario, le será en la mayoría de los casos más económico realizar la sustitución por una válvula nueva y después manejar la posibilidad de mandarla a un taller externo para realizar las operaciones pertinentes.

En las **válvulas de seguridad**, es necesario darles un buen servicio de mantenimiento y reparaciones ya que su función es de indicar la presión de operación límite del circuito, tanque, maquinaria o línea de presión. Aunque a veces no es necesario desmontarlas de su emplazamiento, lo normal es que el mantenimiento se limite a lapear el asiento de la válvula para mantener la estanqueidad de funcionamiento y ocasionalmente reemplazar el disco de cierre. El lapeado se referirá a una operación de mecanizado donde frotando dos superficies con un abrasivo de grano fino o grueso se puede mejorar el acabado y eliminar en lo posible la rugosidad. Por lo tanto, mantener en las válvulas de seguridad un contacto en el asiento sin irregularidades, es necesario para mantener un buen funcionamiento de la misma y una estanqueidad acorde con su función. Periódicamente deben ser desmontadas totalmente para verificar que los elementos no presentan anomalías, así como que su interior no esté con

suciedad, incrustaciones o sustancias extrañas. El muelle no tiene que haber perdido sus características. Una vez montadas de nuevo, deben probarse con el equipo de funcionamiento adecuado, verificando el disparo a la presión de precinto.

A la hora de realizar el cambio por otra de repuesto, hay que comprobar varios parámetros y seguir un procedimiento de seguridad. Por un lado hay que estar seguro que la línea no tiene presión en el fluido. Aun así hay que estar preparado para un escape del mismo cuando se afloje la válvula. Aflojar con cuidado las conexiones a la tubería para despresurizar la línea. Hay que tener en cuenta que dependiendo del tipo de válvula se necesitaran de herramientas específicas para extraerla de la línea. También dependiendo de la tipología del fluido, habrá que enfriar la línea si en esta circula fluido a temperatura elevada. Al sustituir y volver a instalar una nueva válvula, al final habrá que comprobar la presión de funcionamiento y si hay aparición de fuga.

Normalmente la reparación de una válvula se considera económica si se puede dejar operativa de nuevo con un coste no mayor al 65% del precio que costaría reponerla de nuevo con una de repuesto. Los costes de reparación suelen ser del 50% el coste de reposición. Si el coste es mayor al 65% no sale a cuenta reparar la válvula y si, sustituirla por una nueva.

7.2.-Bombas

En todo circuito e instalación donde hay un fluido en su recorrido, tenemos una variedad de bombas para su bombeo. Este no se mantiene solo, sino que siendo una parte fundamental de la circulación del mismo, en nuestro caso combustible, todo debe de estar bien programado y debidamente mantenido. Cada bomba es distinta en su frecuencia de

mantenimiento, ya que intervienen parámetros que varían con el tipo de servicio. No es lo mismo que la bomba maneje fluidos limpios como el agua, no corrosivos o que maneje fluidos de temperatura, que sean nocivos y que no sean limpios en su estructura. En el primer caso, la bomba en cuestión necesitará de menos mantenimiento que en la segunda bomba con el mismo tamaño. En los circuitos de estudio de ambas embarcaciones las bombas de alimentación y circulación se reducen a los tipos de husillo y bombas centrifugas. En ambos casos se llevarán a cabo inspecciones diarias de sus parámetros, además de su aspecto exterior para poder detectar cualquier punto de fuga. Además, estarán sujetas a inspecciones periódicas según el número de horas de funcionamiento. Al tener bombas en paralelo iguales, podemos dar descanso a una de ellas, mientras la otra funciona manteniendo la instalación en servicio.

La inspección debe ser completa, desde un chequeo cuidadoso de las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias, así como realizar una limpieza de posibles cuerpos extraños en la admisión y descarga pudiendo causar la obstrucción del flujo o causar roces y daños internos durante su funcionamiento.

Para realizar la inspección, economizar tiempo y detectar mejor los problemas, hay que prestar mucha atención al desmontaje de la bomba y a su posterior montaje. Hay que tener claro ciertos aspectos:

- No es necesario desconectar la tubería de succión o de descarga para realizar la inspección de la misma, a no ser que por una falla mayor o por dimensiones sea fácil desplazarla a un banco de trabajo.

- Si se llegase a tener que desconectar las tuberías de admisión y descarga, deben taparse los extremos de la bomba y de la tubería para que no entren cuerpos extraños y suciedad del ambiente de trabajo.
- Posteriormente y con el procedimiento establecido en los manuales pertinentes del fabricante hay que ir desmontando la bomba, empleando las herramientas correctas. Extraer el acople del eje de la bomba mediante un extractor para que este no sufra daños en su estructura.
- Llevar un seguimiento del desmontaje y guardar las piezas en recipientes limpios, para realizar su inspección y su posterior montaje ya con las piezas sustituidas o con los elementos limpios y listos para continuar su funcionamiento.

Una parte muy importante antes de realizar la inspección de la bomba y sus piezas, hay que limpiarlas cuidadosamente eliminando cualquier posible residuo. Ya que el fluido es combustible y por una parte fuel-oil, los residuos que puedan ser espesos y que se adhieran a la parte interna de la bomba por falta de temperatura y el resto de los residuos que puedan aparecer, se pueden quitar y limpiar por medio de vapor. Si aparecen elementos de mayor densidad que no se pueden quitar con vapor, habría que realizar una limpieza más cuidadosa sin estropear la superficie labrada de la máquina.

Una vez hemos inspeccionado la bomba, limpiado sus partes y sustituido o eliminado el posible problema, hay que volver a montar y ensamblar las piezas. Al ser una máquina construida con precisión para realizar su función, las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias son

muy pequeñas y se deben conservar igual a como estaban antes de su desmontaje. De esta forma la bomba vuelve a estar operativa con la misma funcionalidad. Si el montaje no fuese el adecuado, podríamos producir un problema mayor al motivo del desmontaje como una mala alineación del eje de la bomba que daría problemas en el futuro funcionamiento de la bomba, por lo tanto, el eje debe estar completamente recto y lo más limpio posible. Las partes móviles, deben estar bien engrasadas para que no se produzcan problemas de rozadura y desgaste entre las piezas mecanizadas.

El mantenimiento de las diferentes bombas del circuito, vendrá afectado por acciones realizadas desde el primer momento de su elección hasta su modo de operación, por lo tanto como en el caso de las válvulas donde comentaba que el fabricante empezaba el proceso de mantenimiento con su fabricación, en el caso de las bombas también inicia en el fabricante, y se continua este cuando por necesidad adquirimos una de estas bombas, por lo tanto, la elección de la misma es igual de importante para un tipo de instalación. Si la bomba no es correcta, esta sufrirá un mayor número de problemas. Por lo tanto, para tener un servicio más seguro, un mantenimiento más económico y la mayor vida útil de la bomba hay que prestar atención a ciertos puntos como la selección de la bomba, la instalación de la misma en nuestro circuito, una operación correcta, y un buen programa de mantenimiento y reparación.

- **Selección**, es lo primero a lo que hay que prestar atención cuando hay que adquirir una bomba para una instalación. Hay que indicar la naturaleza exacta del fluido que manejaran. Ya sea combustible pesado, ligero o agua. Otro dato necesario, es el caudal máximo y

mínimo que se necesitan para la instalación y cuál es el régimen normal de trabajo, aproximadamente. Junto con los caudales, también añadimos la presión de descarga que se haya calculado. Con el caudal y la presión se puede acceder a las curvas de selección de la bomba. Para mayor exactitud y mejor selección, el proveedor deberá saber si su servicio será continuo o intermitente en la instalación, el espacio disponible para su instalación mediante planos y por último, asegurarse que el modelo tenga un amplio número de lugares donde poder conseguir los repuestos de las mismas.

- **Instalación**, una vez ya se ha adquirido la bomba, debemos asegurar el punto de instalación de la misma, cálculo realizado en astillero, pensando en su colocación. La base de la bomba debe ser rígida para soportar el peso y no tener movimientos durante su funcionamiento. Una vez instalada la bomba, esta debe de estar bien alineada con las tuberías para que no aparezcan tensiones y funcionamiento errático, donde las tuberías puedan ejercer fuerzas suplementarias sobre la bomba. Por último, para un mejor control de la bomba, mejor funcionamiento y estado, colocar medidores de flujo, temperatura y presión en la admisión y descarga. De esta forma tendremos en todo momento el comportamiento de la misma y se podrá detectar cualquier anomalía lo antes posible.
- **Operación**, esta debe operar según las características elegidas para la instalación y no debe mermarse, ni disminuir la succión de la bomba, para disminuir el caudal que pase por ella, lo normal es jugar con las válvulas para que una mayor o menos cantidad de fluido siga su curso en las tuberías. No debe trabajar en seco, ya que

podría sufrir daños en sus partes móviles. Tampoco debe trabajar con caudales pequeños, ya que podría descebarse y mermar la operación del circuito ocasionando problemas en las demás maquinarias. Por lo tanto, es importante elegir bien la selección para que la operación sea la deseada. Es importante aunque todo funcione correctamente, realizar inspecciones visuales frecuentemente, por si se nota algo fuera de lo común. La lubricación debe ser controlada, así como su uso lo requiera. La alternancia entre dos bombas paralelas en su funcionamiento nos servirá para poder realizar inspecciones parciales o totales sobre la bomba.

- **Mantenimiento y reparación**, como había comentado antes, no es necesario desmontar totalmente la bomba para su reparación, aunque dependiendo del tipo y tamaño, puede ser más fácil llevarla a un banco de trabajo para realizar la reparación y mantenimiento. Hay que tener mucho cuidado en el desmontaje y tener controladas las piezas en todo momento. Reacondicionar y ajustar de nuevo la bomba una vez finalizada la reparación o mantenimiento es igual de importante. Es importante que cuando se realiza una inspección total de toda la bomba, se tengan a bordo respetos para todas las partes por si se encuentra un desgaste en alguna zona o hay que cambiar juntas. Como punto de mantenimiento, la observación del estado será fundamental, por lo que habrá que estudiar puntos de erosión y efectos de cavitación que puedan aparecer en su parte interna.

Durante el mantenimiento y las inspecciones diarias realizadas sobre la instalación sobre las bombas, se deben utilizar los sentidos para poder

encontrar cualquier anomalía en el funcionamiento de estas. La vista, el oído, incluso el tacto servirán para detectar problemas antes de que causen desperfectos en la bomba. Es aconsejable establecer el intervalo de revisión en cada instalación dependiendo de las primeras experiencias con la bomba instalada. Todas tendrán sus particularidades y este intervalo también dependerá del tipo de fluido con el que tenga que trabajar la bomba.

Las **revisiones diarias** que se pueden realizar son:

- Si la bomba contiene un **filtro de succión**, hay que verificar las presiones de los manómetros. Si hay caída de presión entre la entrada y salida, el filtro necesita limpieza.
- **Revisar el flujo** de la bomba a su descarga y admisión. Presiones de admisión y descarga en valores correctos.
- **Revisar** si aparecen **escapes por los empaques**, si existe fuga visible, lubricar bien para prevenir la entrada de aire exterior. La falta de lubricación es la principal causa del deterioro de los empaques.
- **Revisión del sello externo.**
- **Revisar temperatura de los cojinetes**, estos se desgastarán de forma prematura si trabajan a temperaturas demasiado calientes y pueden causar daños mayores en otros accesorios. Los cojinetes se pueden revisar mediante una pistola termográfica.
- Mantenerse alerta en frente de **ruidos ajenos** a la operación normal ya que pueden indicar cavitación, vibración excesiva y falla en los cojinetes

Siguiendo una cadencia más grande, se harán **revisiones semanales** como:

- **Rotación del eje de la bomba**, esta prueba debe realizarse con la bomba en periodo de inactividad, o cuando la otra bomba paralela este trabajando y la mantenida este mucho tiempo parada. Esta rotación sirve para pre-lubricar los cojinetes y prevenir que se trabe el eje. Dar una vuelta y cuarto.
- **Revisar posibles fugas en las conexiones.**
- **Revisar posibles vibraciones del eje y de los cojinetes**, con el tacto o con un medidor de vibración manual.

Además de las semanales y diarias, también se pueden realizar **revisiones adicionales** de forma periódica como:

- **Lubricación de los cojinetes**, ya sea con aceite o con grasa. Establecer un calendario definido para realizar dicha tarea.
- **Consumo de energía**, revisión del consumo de la bomba. Un consumo excesivo es signo necesario de revisión de la alineación de la bomba, cojinetes u otros accesorios.
- **Pernos de sujeción**, es importante verificar cada cierto tiempo el anclaje de la bomba al tecla pertinente. Esto puede evitar y prevenir vibraciones innecesarias sobre la bomba.
- **Inspección interna**, si no hay necesidad, es mejor no desmontar una bomba. Si se hace, hay que revisar todas las partes y reemplazar las partes desgastadas. Limpiar la parte interior de la carcasa y limpiar restos en las partes móviles. Despejar conductos de admisión y descarga limpios de suciedad. Búsqueda de cualquier erosión, rebaba o rayadas en las piezas que puedan causar un desequilibrio, vibración o deterioro.

Aun siguiendo las revisiones tanto diarias, como periódicas, una bomba tendrá que desmontarse por completo o parcialmente para dar reemplazo

a ciertas partes ya sea por calendario establecido o por un problema de paro de funcionamiento. A continuación, se darán ciertos pasos sobre los elementos a poder sustituir en la parte interior de la bomba como el reemplazo de empaques, sellos, alineación de la bomba, etc... El mantenimiento de una bomba es una parte fundamental para el correcto funcionamiento continuo de una instalación. Si se puede desmontar la bomba del emplazamiento de la línea y depositarla sobre una mesa de trabajo o zona más amplia donde realizar la operación es más recomendable que realizar las tareas de mantenimiento con la bomba en la misma línea de funcionamiento. El lugar de trabajo debe estar lo menos contaminado posible. La contaminación de polvo u otros elementos es un factor primordial en el daño prematuro de las bombas. Mantenimientos que se pueden realizar con la bomba desmontada:

- ***Empaque de la bomba***, este debe ser reemplazado cuando exteriormente una fuga ya no pueda controlarse. Se deben reponer todos los empaques de la bomba. Los viejos son extraídos para analizarlos y así poder encontrar la causa del desgaste. No servirá de nada añadir anillos nuevos a los empaques desgastados. En la mayoría de las bombas estos pueden ser reemplazados sin necesidad de desmontaje. En el manual de la bomba, el fabricante expondrá el límite de fuga máximo de los empaques. Su función es la de evitar la salida del fluido hacia el exterior. Los empaques se sitúan en el estopero, y debido a la presión que sufren los estoperos, los empaques deberán comportarse plásticamente para ajustarse de forma correcta y amoldarse a la presión ejercida por el trabajo de la bomba al impulsar el fluido. Pueden ser de varios

materiales como asbesto, fibras de asbesto, plásticos, fibras sintéticas como el teflón, etc...

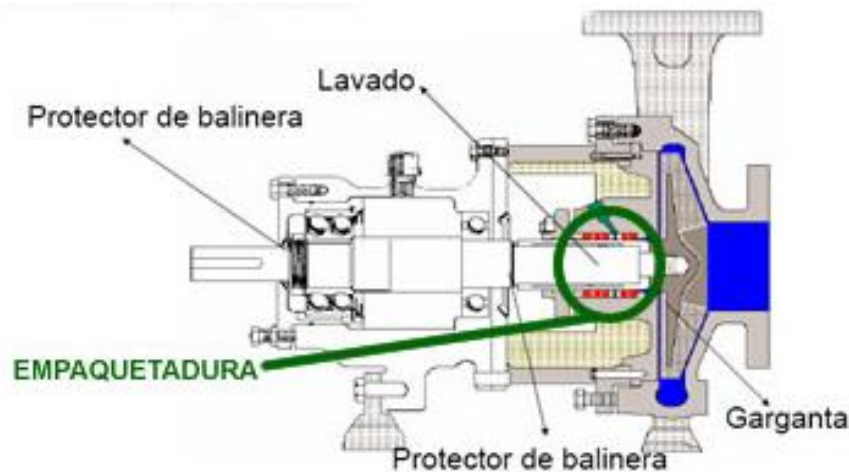


Imagen 66: Localización empaquetadura.

Para realizar la sustitución del empaque de la bomba, primero hay que sacar el collarín para acceder a la empaquetadura. Una vez tenemos acceso a esta, usamos un extractor para extraer toda la empaquetadura y procurar que no queden restos en el estopero. Limpiar y observar que no quede suciedad sobre el eje, también inspeccionar la posibilidad de desgaste sobre eje y camisa. Sustituir en el caso de mal estado. A la hora de introducir una nueva empaquetadura, consultar el tipo y número de anillos en el manual del fabricante. Cada bomba varía por lo que hay que tenerlo claro para obtener un funcionamiento correcto una vez montado. Una vez todos los anillos de empaque estén colocados con sus respectivos ángulos, reemplazar el collarín y ajustar sus tuercas. Para comprobar el montaje arrancamos la bomba para comprobar posibles pérdidas por mala colocación.

Dejar que la bomba esté en funcionamiento de dos a tres horas e intentar controlar las fugas. Para que las fugas estén de acuerdo con lo recomendado por el fabricante vamos ajustando las tuercas del

collarín de forma gradual. Si no conseguimos controlar la fuga de forma gradual y hay que desmontar el collarín de nuevo, dejar que la bomba se enfríe. El goteo se deja para que el calor y la fricción, generada por la flecha de la bomba, no dañe la bomba

- **Sellos mecánicos**, en este tipo de sellos no hay posibilidad de fugas como en las empaquetaduras convencionales. Si hay fuga, deberá cambiarse el sello mecánico. Por lo tanto, dependerá de si la bomba lo lleva instalado o no. Los sellos mecánicos deberán manejarse con un mayor cuidado. Se deben instalar y sustituir según las instrucciones del fabricante. Los sellos mecánicos consisten en dos superficies bien pulidas que se encuentran en contacto. Una de las superficies es estacionaria y se encuentra unida a la carcasa de la bomba, mientras que la otra gira con la flecha. Los materiales de ambas superficies son diferentes, una puede ser de carbón o teflón y la otra de acero inoxidable. Hay varias combinaciones. El apriete entre las dos superficies se regula mediante un resorte. Si estanqueidad se ve ayudada por anillos y juntas suplementarias. Para realizar la sustitución y mantenimiento del sello mecánico, deberemos trasladar la bomba a un área limpia para trabajar. Una vez abierta, hay que inspeccionar la bomba en busca de desgaste o daños, mientras se limpia e inspecciona el eje y camisa. Posteriormente abrimos el paquete de sellos del sello mecánico de forma cuidadosa y con las manos limpias. Es importante no llevar suciedad en la zona de contacto con el sello, ya que rasguños y suciedad inadvertida sobre la superficie del sello pueden dejar inutilizados los sellos para su utilización posterior. Inspeccionar el paquete de sellos, en busca de defectos, si se ven desgastes,

devolver el sello al fabricante. Si uno de los sellos se cae al suelo, no utilizar si no se está seguro de que no haya sufrido alguna imperfección.

Antes de reemplazar el sello mecánico, lubricar el anillo interno y las partes en contacto con el sello mecánico. El lubricante ha de ser compatible con el material del anillo. Posteriormente, colocamos el sello de reemplazo según las instrucciones del fabricante. La precisión es muy importante en este paso para evitar un apriete excesivo o insuficiente. Ensamblamos de nuevo la bomba, de forma que quede alineada con el elemento de accionamiento de la misma. Como últimos pasos, arrancamos la bomba según procedimiento e inspeccionamos si se produce alguna fuga. Puede presentar fugas durante un corto tiempo después de su instalación. Si persisten, indica sello defectuoso o instalación inadecuada.

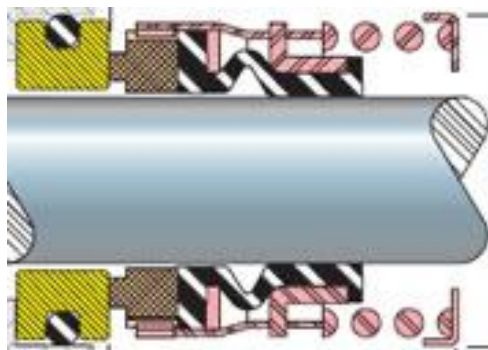


Imagen 67: Sello mecánico de una bomba.

- **Alineación de la bomba**, es otro de los mantenimientos importantes a realizar sobre la bomba. Una mala alineación de esta puede causar un desgaste elevado sobre sus piezas móviles, ruido y vibración excesiva, en definitiva causa daños en exceso. La alineación de la bomba y su accionador debe verificarse al instalar la bomba en su emplazamiento del buque y siempre que la bomba sea desmontada para otro tipo de mantenimiento interno y vuelva a armarse. La

desalineación de la bomba, se puede producir por la misma tensión impuesta sobre la tubería. La alineación puede verificarse con dispositivos de proximidad, indicadores de cuadrante o con regla y laminas de calibración. Cuando se realice una juste de la alineación de la bomba en una dirección, se deberá comprobar en las demás direcciones por si se ha desequilibrado.

- **Rotor y estator**, dos componentes generales de la bomba y que su desgaste irá ligado a muchos factores como, el tipo de producto que se bombea, abrasividad del fluido, velocidad de giro de la bomba, presión de trabajo y temperatura del fluido. Si el desgaste visible en ambos componentes llega a niveles inaceptables que reduzca el rendimiento y funcionamiento de la bomba, es necesario su sustitución. En algunas bombas, el fluido es el que lubrica las partes móviles para que no se produzca tal desgaste de forma acelerada.
- **Articulación y eje**, se debe controlar y lubricar para prolongar su duración y mejora de funcionamiento. En el caso de la articulación pueden aparecer partes desgastadas y otras no, por lo que solo será necesario sustituir una de las partes ya sea un casquillo, anillo, etc... El eje de transmisión se reemplazara cuando está muy desgastado y con posibilidad de rotura, o cuando el eje presente rotura total. La lubricación será un aspecto fundamental para una larga duración y menor desgaste por movimiento. El lubricante vendrá dado por el fabricante habiendo sido ensayado y garantizando las prestaciones.

Esta lista de mantenimientos sobre las bombas, con sus pertinentes revisiones diarias, semanales y adicionales, son un intento de dar una percepción de la importancia del mantenimiento en las bombas de cualquier tipo ya sea centrifuga o de husillos como las que están instaladas

en los buques de estudio. Dependiendo de su estructura y su conformación interna, cada una llevará sus especificaciones detalladas en los manuales, con su mantenimiento descrito. Al igual que el mantenimiento de los problemas comentados, es imprescindible conocer el funcionamiento de la bomba. Como se arranca y si es necesario cebarla antes de su arranque. Una diferencia entre las bombas de los circuitos comentados, es que las bombas de husillo no necesitan estar cebadas al arrancar, pero las centrifugas sí. Al final, lo importante es concienciar, a los responsables en gestionar el mantenimiento, de que la realización de los diversos mantenimientos es importante para alargar la vida útil de la maquinaria y en definitiva de la instalación misma.

7.3.-Depuradoras

Cada vez más, los mantenimientos aplicados a ciertas maquinarias adquieren carácter correctivo, ya sea por falta o disminución de personal o por falta de espacio en el buque para repuestos. Es importante que el buque lleve instalado dos depuradoras en paralelo, ya que si una está en reparación, la otra puede seguir depurando el combustible pesado. Lo mejor sería tener un mantenimiento preventivo en toda la instalación ya que de esta forma y con un plan de mantenimiento podemos tener conocimiento del momento adecuado para realizar los diferentes mantenimientos como el cambio de aceite, limpieza interna de la depuradora, cambio de empaques, cojinetes internos, etc... También hay que decir que este mantenimiento preventivo obliga a tener un almacén con todos estos repuestos para poder realizar el mantenimiento al momento. Las depuradoras utilizadas en ambos buques de estudio son de AlfaLaval y el mantenimiento, se aplica a través de las Órdenes de Trabajo

planificadas o en el peor de los casos por rotura de una pieza o mal funcionamiento de la depuradora.

ORDEN DE TRABAJO No.12422	
FECHA: _____	
HORA DE INICIO: _____	HORA DE: _____
FINALIZACIÓN: _____	ASIGNADO: _____
ASIGNADO POR: _____	A: _____
SISTEMA EN EL CUAL SE REALIZARÁ EL TRABAJO: _____	
ACTIVIDAD ASIGNADA: _____	
PRECAUCIONES: _____	

Imagen 68: *Formulario posible de una Orden de Trabajo.*

Como en las bombas y las válvulas, la depuradora requerirá de una inspección diaria durante las diferentes guardias. Como comprobaciones diarias se establecen los siguientes puntos, pudiendo variar dependiendo del modelo y de la instalación de la depuradora:

- Comprobar **fugas** a la entrada y descarga de la separadora.
- Comprobar la presencia de **vibraciones y ruidos** en el funcionamiento de las piezas móviles. Unas vibraciones excesivas son sinónimo de mala instalación o una limpieza deficiente del rotor.

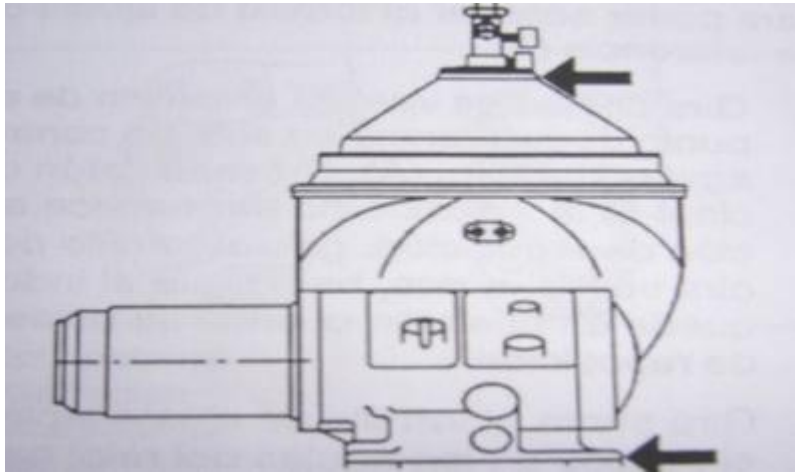


Imagen 69: *Puntos para medición de vibraciones en depuradoras.*

- Revisión del **nivel de aceite** de la caja de engranajes.

Es una máquina muy importante en el buque Murillo para la depuración del fuel pesado y no tan importante para el remolcador Willy T, donde consume diesel-oil. En ambos casos lo que se busca es la mayor pureza a la hora de la combustión para obtener una combustión lo más limpia posible y mayor rendimiento. El mantenimiento en las depuradoras tiene tres objetivos fundamentales que no solo afectan a la misma maquinaria, sino al entorno de trabajo:

- **Desgaste de piezas**, todo mantenimiento tiene como objetivo alargar la vida útil de la máquina de aplicación. Al pasar combustible pesado y diesel por las depuradoras, al no ser un fluido limpio, este si la depuradora no está bien lubricada, puede desgastar las piezas de la misma.
- **Contaminación del medio ambiente**, tema muy importante hoy en día. El combustible después de la depuradora es quemado por los motores principales y auxiliares. Si el combustible no se depura correctamente y con la mayor eficiencia, llegará sucio al motor produciendo una combustión defectuosa y produciendo impurezas

en los gases de escape como ceniza, provocando contaminación atmosférica. Por lo tanto, un mantenimiento correcto en la depuradora, mantendrá su rendimiento de depuración sobre el combustible.

- **Eficiencia de la depuración**, esta aumentará con el mantenimiento realizado sobre la depuradora. Mejorando la pureza del combustible quemado en el motor, ocasionando menos desgaste en las piezas de los motores y menos fallas de combustión.

El mantenimiento en las depuradoras y según la exigencia del mantenimiento de importancia, se distinguirán tres niveles diferentes de mantenimiento. Este mantenimiento no quiere decir que unas tareas sean más importantes que otras, solo que el número de acciones es más reducida en las tres fases. Para iniciar el servicio de mantenimiento sobre la depuradora, hay que empezar por su **servicio básico**. Este servicio tiene un periodo de realización de mayor cadencia y vendrá definida según el número de horas de funcionamiento de la depuradora. Dentro de las acciones a realizar destacan dos:

- **Lavado químico**. Mantenimiento a tener que realizar cada 500 horas de funcionamiento de la depuradora. Si el combustible utilizado está muy sucio debido a su procedencia, se podría acortar la cadencia a las 300 horas de servicio. Todo dependerá de las especificaciones del manual y el fabricante. El químico utilizado está compuesto por aminoácidos. Es soluble en agua, no es inflamable y previene la corrosión provocado por los compuestos del combustible. La temperatura recomendable para el lavado en las depuradoras es entre 50 y 70 °C. Esta limpieza requiere de una

máquina especial instalada a bordo o procedimiento equivalente según fabricante.

El tiempo de duración del lavado variará entre 1 y 3 horas dependiendo del estado de suciedad que presente la depuradora. El proceso de lavado de la separadora es el siguiente paso a paso:

- Parar el funcionamiento de la separadora.
- Apagar la unidad de control para que no se pueda volver a arrancar mientras se realizan los siguientes pasos.
- Desconectar las tuberías de admisión y descarga, para dejar incomunicada la separadora de la línea de combustible.
- Conectar las mangueras pertinentes de la máquina de lavado químico con la depuradora.
- Abrir las respectivas válvulas de estrangulación entre la máquina de lavado y la depuradora.
- Encender la unidad de control y arrancar la separadora.
- Cerrar la taza de la separadora y abrir la válvula de agua de operación del sello.
- Cerrar la válvula de drenaje de la separadora y llenar de agua.
- Arrancar la máquina de lavado.
- Mantener la separadora a presión constante según fabricante.
- Agregar líquido de lavado químico.
- Si aparece algún tipo de vibración es recomendable abortar y parar la separadora.
- Inspeccionar continuamente el proceso de lavado.
- La temperatura debe mantenerse de 50 a 70 °C.

- Después de una hora de lavado, abrir válvula de descarga separadora para realizar una descarga. Cerrar la descarga y revisar que haya más de 10 litros dentro de la depuradora, sino agregar agua de operación.
- Al terminar la limpieza cerrar válvula de agua de operación y descargar contenido de la separadora por completo.
- Volver a abrir la válvula de agua de operación y llenar la separadora. Dejar que la máquina de lavado alcance los 70 °C de nuevo.
- Cuando alcance la temperatura, cerrar la válvula de agua de operación y descargar la separadora de forma completa.
- Parar la máquina de lavado químico y la separadora, finalizando el lavado químico.
- **Cambio de aceite.** Tarea de mantenimiento a realizar cada 1000 horas debido al desgaste que puedan sufrir los engranajes de la separadora. Alargar demasiado el cambio de aceite puede producir daños importantes en la separadora. Junto con el cambio de aceite también aprovechamos para revisar el engranaje. El procedimiento para cambiar el aceite, se inicia desenroscando el tapón de drenaje del colector de la separadora. El aceite se drenará a un recipiente colocado a la salida para recoger el aceite. Una vez ya no queda aceite en el colector, se aparta el recipiente con el aceite usado para verter en el tanque de lodos. A continuación, vertemos aceite nuevo a través del tapón de llenado hasta la mitad de la mirilla del cárter, finalizando el cambio de aceite. En la imagen inferior, el 1 corresponde al tapón de llenado, el 2 a la mirilla del cárter y el 3 al tapón de drenaje.

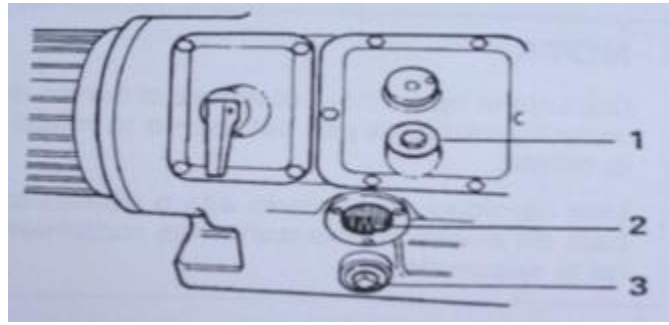


Imagen 70: Punto de llenado de aceite depuradora.

Con el cambio de aceite aprovechamos para revisar el desgaste de los dientes de los engranajes y el tornillo sinfín. Examinar las superficies de contacto y los perfiles de los dientes. Si los dientes presentan desgaste, se podría realizar el cambio del tornillo sinfín o de algún engranaje. Hay que asegurarse que la nueva instalación del tornillo sinfín y del engranaje sustituido tiene la misma relación de transmisión.

A continuación las tareas de mantenimiento pueden realizarse como **servicio intermedio**. En este caso las tareas reducen su cadencia hasta las 2000 horas de funcionamiento. Es importante utilizar piezas originales del fabricante como pieza de repuesto, aunque muchas veces se intenta conseguir piezas equivalentes de coste menor para realizar estas sustituciones. En este tipo de servicio de mantenimiento podemos encontrar las siguientes tareas:

- Limpieza de la **admisión y descarga** de la separadora.
- Revisión de las **roscas de la tubería** de admisión y alojamiento de la conexión.
- Tareas sobre el **rotor** de la separadora:
 - Limpieza y revisión disco centrípeto superior.
 - Limpieza y revisión disco de control de caudal.
 - Limpieza y revisión del anillo de cierre.

- Limpieza y revisión de la tapa del rotor.
- Limpieza y revisión del disco superior.
- Limpieza y revisión del disco centrípeto de aceite.
- Limpieza y revisión del anillo de nivel.
- Limpieza y revisión de los discos del rotor.
- Limpieza y revisión del distribuidor.
- Limpieza y revisión del cono distribuidor.
- Limpieza y revisión el fondo deslizante del rotor.
- Limpieza y revisión el cuerpo del rotor.
- Limpieza y revisión del cono del eje del rotor y cubo del cuerpo del rotor.
- Limpieza y revisión del mecanismo de maniobra.
- Revisión de corrosión.
- Revisión de grietas.
- Revisión de erosión.
- Revisión de rozadura en las superficies.
- Revisión de la presión del paquete de discos.
- Cambio de las juntas tóricas y sellos.

De los puntos comentados en la lista anterior, destacan los mantenimientos realizados sobre:

- ***Junta de estanqueidad de la tapa del rotor***, un sellado deficiente entre la junta y el borde de sellado del rotor, puede provocar fugas de combustible desde el rotor hacia el exterior. Si se ve desgastada o en mal estado, cambiar la junta. Cada vez que se realice una operación intermedia se aconseja cambiar la junta.

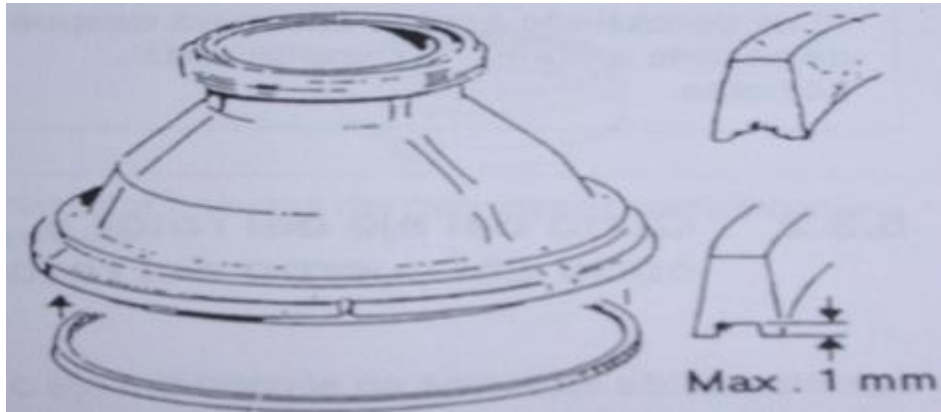


Imagen 71: Esquema y situación junta de estanqueidad.

- **Cono del eje del rotor y cubo del cuerpo del rotor**, en estos puntos debió a impactos internos o externos por funcionamiento, pueden provocar un ajuste deficiente y un desequilibrio provocando vibraciones. Hay que revisar el eje del rotor y el cubo del cuerpo del rotor. Quitar los impactos con un rascador o una piedra de amolar, con cuidado de no deformar la forma cónica del cono.
- **Corrosión**, hay que estar atento a cualquier evidencia sobre la corrosión y eliminar esta en cada revisión interna. Las piezas del rotor como el cuerpo, la tapa y el anillo de cierre deben revisarse cuidadosamente para detectar cualquier signo de corrosión.

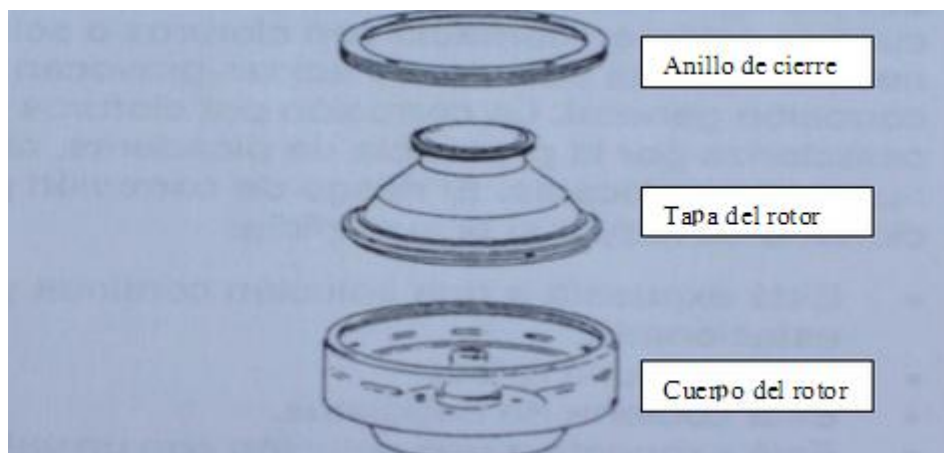


Imagen 72: Puntos importantes de corrosión.

- **Grietas**, se propagan poco a poco. Comienzan a menudo en una zona expuesta a elevadas tensiones cíclicas, denominándose grietas

de fatiga. También pueden aparecer debió a la corrosión de ciertas partes. Estas son potencialmente peligrosas para el funcionamiento de la depuradora. Hay que cambiar siempre una pieza que presente grietas, especialmente en piezas rotativas.

- **Presión del paquete de discos**, esta debe ser verificada para mantener el equilibrio del rotor. Una presión insuficiente provoca vibraciones y reducción de vida útil de los rodamientos. El anillo de cierre presiona la tapa del rotor contra el cuerpo del rotor. La tapa a su vez ejerce presión sobre el paquete de discos sujetándolo en posición correcta.

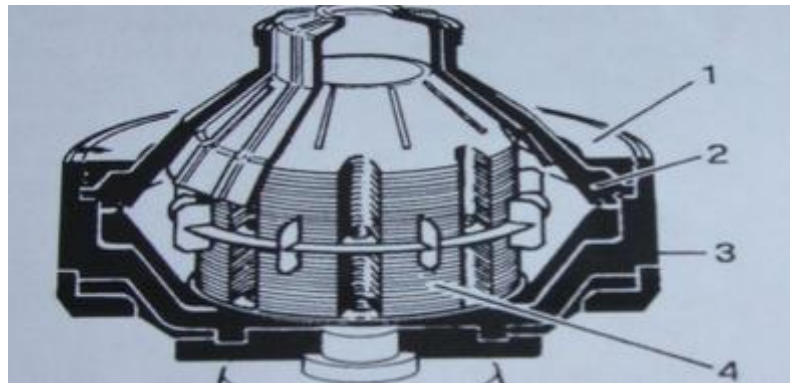


Imagen 73: Paquete de discos.

- **Erosión**, esta se produce cuando articulas suspendidas en el líquido del proceso golpea contra una superficie. Si el caudal es elevado, la erosión y los impactos se acentúan. Las piezas susceptibles a sufrir erosión son, el disco centrípeto superior, disco superior, pared del rotor y borde de sellado entre cuerpo y junta de estanqueidad.
- **Anillo de cierre**, un desgaste excesivo o impactos en las roscas de cierre pueden provocar rozaduras peligrosas durante su funcionamiento. Hay que estar atentos a un desgaste excesivo.

Por último, en el mantenimiento sobre las depuradoras hay la tercera fase o servicio, englobado como **servicio completo**. Este al igual que en el

intermedio es conveniente utilizar piezas originales para realizar el mantenimiento. Se realiza cada 8000 horas de funcionamiento de la máquina y comprende los siguientes trabajos:

- En la **admisión y descarga** mismos trabajos del servicio intermedio.
- En el **rotor** se realizarán los mismos trabajos que en el servicio intermedio, añadiendo la revisión de la altura del disco centrípeto superior.
- Revisión y limpieza del **dispositivo de maniobra**.
- Sobre el dispositivo de **accionamiento vertical** se realizarán:
 - Limpieza y revisión del eje del rotor.
 - Limpieza y revisión del desgaste de la ranura del eje helicoidal.
 - Limpieza y revisión de los muelles del amortiguador y rodamientos de bolas.
 - Limpieza y revisión de la oscilación radial del eje rotor.
 - Cambiar juntas tóricas y sellos.
 - Cambiar rodamientos del eje.
- Sobre el **dispositivo horizontal**:
 - Engrase tornillo sinfín y engranajes.
 - Limpiar freno y revisar zapata de freno.

Dentro de los puntos comentados, los más importantes a tener especial atención son:

- **Altura del eje del rotor.** Una vez se ha desmontado el eje del rotor, se debe de comprobar la altura en relación al anillo del bastidor. Antes de realizar el ajuste, hay que asegurarse que el rodamiento inferior del eje este bien asentado en su alojamiento para comprobar la altura.



Imagen 74: *Altura eje rotor respecto carcasa.*

- **Oscilación radial del eje del rotor.** La oscilación debe comprobarse cuando se desmonta el eje o si se percibe un funcionamiento brusco del rotor en forma de vibraciones. Esta oscilación puede provocar daños y reducir la vida de los rodamientos. Se comprueba antes de montar el rotor. Si la oscilación es demasiado grande, hay que cambiar todos los rodamientos del eje, volver a medir la oscilación después del montaje de los nuevos rodamientos, si sigue siendo excesiva, puede que el eje este dañado y deba ser cambiado.
- **Freno.** Si el forro de fricción esta desgastado, se alargará el tiempo de frenado. Si la zapata se encuentra desgastada, se deberá cambiar. Si las zapatas están desgastadas o engrasadas, el tiempo de aceleración será más largo. Esto ocurrirá si la depuradora no alcanza la velocidad de giro máxima en 10 minutos o si el rotor pierde velocidad durante la operación. En este caso revisar las zapatas. Si están engrasadas, limpiar con un desengrasante adecuado. Si no están engrasadas pero presenta desgaste, cambiar la zapata inmediatamente.

Todos estas tareas de mantenimiento se puede agrandar o reducir, dependiendo del tipo de depuradora y su fabricante. De esta forma, cada modelo llevará consigo un manual de mantenimiento a tener en cuenta

para que se apliquen las medidas correctas y se utilicen los procedimientos oportunos.

7.4.-Filtros

Elemento de gran importancia en los circuitos tanto de combustible como de otro fluido. Se podría considerar un elemento de apoyo y seguridad de la instalación sobre las demás máquinas y elementos ya sean válvulas, bombas, módulos de combustible, los mismos motores, etc... A través del filtro podemos retener una gran variedad de partículas de diferentes tamaños según el grado de retención del filtro. Una instalación sin filtros, funcionando con un fluido sucio como son los combustibles, ocasionaría a la larga un embotamiento de los elementos como las bombas, dañándolas y recortando su vida útil, además de mantener la instalación en paros continuos.

A la hora de realizar el mantenimiento de los filtros, este para que sea provechoso y se utilicen todas las horas o la mayoría de horas útiles del elemento, suelen ser controlados por hora de funcionamiento. En las horas estipuladas, por fabricante o por los gestores de la instalación, se realiza el cambio o limpieza del filtro dependiendo del tipo. Aun si se sustituye o se limpia, se analiza la cantidad de suciedad y el estado del mismo. De esta forma podemos modificar la cadencia de cambio o limpieza para no sufrir sustos inesperados. También puede haber otros indicativos para realizar el mantenimiento sobre los filtros:

- ***Temperatura y presión de combustible.*** Estos dos parámetros estarán dentro del control de la instalación. Si la temperatura aumenta demasiado, el filtro puede sufrir desgaste excesivo no garantizando su futura filtración. En el caso de la presión, una

pérdida de presión puede significar que el filtro se encuentra muy sucio y el combustible no llega a los elementos de impulso o combustión como los motores.

- **Fluidos sucios.** En el caso del combustible, hay una gran variedad y todos con un grado de suciedad dependiendo de su procedencia. El cambio de combustible, hacia uno más limpio puede ocasionar una mejora en el rendimiento de la combustión y una reducción en la necesidad de cambiar el filtro. En el caso contrario, pueden aumentar los costes y la necesidad de limpieza si el combustible contiene más suciedad.
- **Cambio de combustible.** Si se realiza el cambio del combustible, es recomendable cambiar los filtros o limpiarlos para que con el funcionamiento podamos seguir la evolución del nuevo combustible y establecer una nueva cadencia de mantenimiento.

A fin de garantizar el servicio de los filtros la mayor parte posible, hay que tener en cuenta ciertos aspectos que ayudaran en la facilidad de su mantenimiento:

- El espacio de los filtros debe ser lo suficientemente espaciosa para realizar su desmontaje, permitiendo un cambio o una limpieza fácil y poco problemática. De esta forma se agiliza la tarea.
- Las tuberías de admisión y descarga no deben entorpecer las tareas de mantenimiento.
- Como en las bombas, su instalación ayudaba en las tareas de mantenimiento, una buena instalación en lugar accesible permite tener un mantenimiento más seguro y más fácil de desarrollar.

- Instalar líneas de llenado del filtro para enjuagar este cuando se haya cambiado o limpiado. Agilizando la finalización de la tarea.
- Prevenir una extracción para el purgado y la toma de muestras desde el filtro.

Los filtros antes de su cambio o utilización en tareas de mantenimiento deben estar bien protegidos para que no se les adhiera suciedad en el almacén o compartimento del buque. Suelen ir protegidos por bolsas de plástico y solo deberán retirarse en el momento de realizar el cambio. Si son filtros originales suelen llevar las juntas pertinentes para realizar el cambio. Para realizar el cambio de un filtro de combustible, hay que seguir varios pasos. Cuando se indique que se ha alcanzado las horas de cambio o el filtro empiece a fallar antes de hora, se deberá realizar el cambio. Primero de todo, se deberá cerrar el filtro a sustituir, dejando un filtro paralelo en funcionamiento o evitar mediante una línea secundaria el filtro. La instalación debe seguir funcionando sin problemas. Cuando ya tengamos cerrada la línea y el filtro este aislado procedemos a descargar la línea de presión. Para eso abrimos la tapa superior del filtro. Hay que tener cuidado de que las piezas desmontadas no se ensucien para su colocación posterior. Preparar paños limpios y espacio de trabajo. Extraemos el filtro sucio de la carcasa y dejamos este dentro de un recipiente para que vaya escurriendo el combustible que pueda quedar en el. Con la carcasa sin el filtro, queda combustible encallado en este al cerrar la línea. Para revisar la superficie de la carcasa y su interior, debemos drenar la carcasa bien, antes de introducir el nuevo filtro. Una vez ya no haya combustible en la carcasa, limpiamos bien esta e inspeccionamos la suciedad acumulada. Cuando la carcasa este limpia abrimos el otro filtro, y sustituimos las juntas de la tapa de la carcasa del

filtro. Humedecer las juntas, roscas y superficies que provocarán la hermeticidad. Montar el filtro nuevo dentro de la carcasa y llenar progresivamente la carcasa con combustible para cebar el filtro. Cuando la carcasa este llena hasta arriba, cerramos con la tapa, apretamos y abrimos la entrada y salida del filtro para dejarlo operativo.

En el caso de limpieza del filtro, aislaríamos este, y lo desmontaríamos. Limpiaríamos sus partes internas mediante un trapo limpio que no deje restos y volveríamos a montar. Si hubiese desgaste en alguna de sus piezas o rotura, se procedería al cambio completo del filtro.

7.5.-Intercambiadores de calor

En el mercado podemos encontrar una gran variedad de intercambiadores para múltiples procesos industriales. Por lo tanto, su mantenimiento se intenta especificar para cada tipo de intercambiador. En los circuitos descritos los calentadores y enfriadores son intercambiadores de placas. El mantenimiento más importante o uno de los más importantes en los intercambiadores de placas es la limpieza de la incrustación entre láminas. Esta suciedad dificulta la transferencia de calor entre los fluidos. Las técnicas varían dependiendo del tipo de incrustación y de la configuración de los intercambiadores. Esta limpieza se realiza por medio de cepillos o por soplado de aire a alta presión por encima de la superficie de las placas. Además hay que limpiar las carcasas exteriores que confinan las placas una al lado de otra mediante limpieza química.

Los productos químicos empleados para la limpieza de las placas de la incrustación de suciedad, varía dependiendo del material de construcción del intercambiador, como del tipo de fluido que pasa por el intercambiador. Se pueden usar desde ácidos fuertes o débiles, hasta

ácidos clorhídricos, fosfórico, cítrico u otra formulación que disuelva minerales de las deposiciones de agua o del vapor. Además de la limpieza, si se encuentran defectos en el sistema de sellado, es recomendable sustituir las empaquetaduras entre placas. Un indicativo de funcionamiento errático es el aumento o la disminución de la temperatura del fluido principal en el circuito como es el del combustible utilizado a través de los sensores del circuito. Mantenimientos sobre el intercambiador:

- Limpieza externa de las placas.
- Revisar la oxidación y el estado de las tomas de los fluidos del intercambiador.
- Revisión de las empaquetaduras.
- Revisar cualquier punto de oxidación del cuerpo.

VI. DIMENSIONAMIENTO

8.-Introducción

Último punto de desarrollo, donde se realizará un dimensionamiento y acondicionamiento del sistema de combustible de uno de los buques de estudio. Por sus dimensiones y elementos instalados se utilizará el buque Murillo como punto de partida. La idea principal, es acondicionar el buque para que pueda realizar travesías mayores utilizando los mismos motores principales, auxiliares, motor de emergencia, incinerador y caldera auxiliar. Partiremos del principio de que conocemos su autonomía, su travesía y su velocidad de crucero. Se calcularán los tanques de combustible, así como las características de las bombas requeridas; también se calcularán el tipo de tubería y las mayores pérdidas de carga en el circuito. En los cálculos realizados para el redimensionamiento, se utilizarán los obtenidos del fabricante y no los obtenidos de la empresa a cargo del buque. No se utilizarán las dimensiones actuales del buque Murillo en tanto a bombas y tuberías. Por lo que, solo se hará referencia al esquema de los circuitos y la disposición de los elementos.

8.1.-Misión del buque

La travesía del buque normalmente suele ser de trayectos menores donde la distancia en millas puede variar entre las 200 y las 800 millas dependiendo de su ruta normal. Actualmente, el buque Murillo tiene una autonomía aproximada de 4.000 millas. Para este punto, se asumirá una autonomía de 6.000 millas que nos permitirán incluso abordar si fuese requerido el mar Caribe desde el puerto de Barcelona. La velocidad de servicio es de 22 nudos.

Si el buque fuese un petrolero, se podría decir que su operación sería de compensación o equilibrado, ya que el buque realizaría transportes a

distancia corta como puede ser el caso de Barcelona-Ibiza, o de media distancia como podría ser Barcelona-Vigo. Este tipo de operación se desprenderá de la autonomía elegida de 6.000 millas. El buque consumirá como ya se había comentado en puntos anteriores fuel-oil y diesel-oil. En el caso de los motores principales, como en los auxiliares, estos pueden consumir fuel-oil de 700 cSt de viscosidad a 50°C. El fabricante de los motores recomienda el uso de este fuel-oil siguiendo las normas ISO 8217. Por lo tanto, pueden utilizar el mismo combustible para su operación. Las características de este combustible son las siguientes:

Propiedades	Unidad	RMK
Densidad a 15°C	Kg/m ³	1010
Viscosidad a 50°C	cSt	700
Micro-residuos de carbón	% m/m	20
Aluminio y silicio	mg/kg	60
Sodio	mg/kg	100
Ceniza	% m/m	0,150
Vanadio	mg/kg	450
Agua	% v/v	0,5
Punto de fluidificación	°C	30
Punto de inflamación	°C	60
Azufre	% m/m	Según requisitos legales
Sedimentos	% m/m	0,10

Tabla 45: Características fuel ISO 8217:2010.

El combustible cumple con las especificaciones del anexo VI del MARPOL, referente al contenido de azufre, por lo que el combustible en cuestión podrá utilizarse ya que su nivel está en el límite de 1,5% m/m, en vigor desde el 1 de enero de 2012. En el 2020, si que se tendrá que cambiar de combustible ya que el valor será reducido a 0,5% m/m. Si el buque navega en zonas especiales como el Mar Báltico o Mar del Norte, el combustible

no sería apto ya que el límite actual es de 1% m/m. En el caso de navegar por dichas zonas especiales, el buque debería llevar otro tipo de fuel-oil con un contenido de azufre menor. Por lo tanto, el valor del azufre, como queda patente en la ISO 817 de 2010, será establecido según los criterios de los requisitos legales en vigor.

Para el redimensionado no se tendrá en cuenta cualquier otra modificación relativa al contenido máximo de azufre en combustibles marinos, empleado en la navegación. Por lo que, su valor límite queda fijado en 1,5% m/m. Para posteriores limitaciones se hará referencia a mejoras tecnológicas o disminución del contenido de azufre en los combustibles utilizados, ya sea tratado en el mismo buque o desde refinería. Además, de fuel-oil, el buque también dispone de combustible diesel. Este combustible se utilizará para el arranque de los motores, o para largas estancias en el puerto. Este combustible, como el fuel-oil se selecciona de acuerdo a la norma ISO 8217:2010. En este caso se utilizará MDA, que mantiene el contenido en azufre en 1,5 % m/m. Sus características son las siguientes:

Propiedades	Unidad	MDA
Densidad a 15°C	Kg/m ³	890
Viscosidad a 40°C	cSt	60
Punto de inflamación	°C	60
Azufre	% m/m	1,5
Ceniza	% m/m	0,01
Punto de fluidificación	°C	-6
Agua	% v/v	1,5

Tabla 46: Características diesel ISO 8217:2010.

Estos tipos de combustible, como se ha reflejado en el estudio de los buques del proyecto y sus circuitos, pasan por varios tipos de elementos de su respectivo circuito. Estos elementos se dividen en tres partes como son la parte de trasiego de combustible, donde están las bombas de trasiego, tanque almacén y sedimentación; la parte de purificación, constituido por bombas de las depuradoras, depuradoras en sí, calentadores y filtros; y como última parte, la parte de suministro, donde encontramos los tanque de servicio diario, bombas de suministro y módulos de preparación de alimentación.

8.2.-Dimensionado de los tanques

Ahora que conocemos la misión del buque o por lo menos su intención de travesía y el combustible a utilizar según la ISO 8217:2010, hay que establecer por un lado el consumo total de motores principales y auxiliares, y la capacidad de combustible de los tanques, tanto de servicio diario, como de sedimentación y almacén. Según el convenio MARPOL, los tanques de los buques con una capacidad total de combustible igual o superior a 600 m^3 , deberán tener una capacidad máxima no superior a 2.500 m^3 .

Los tanques de combustible de fuel-oil, sin ningún soporte exterior, no reúnen las condiciones de temperatura necesaria para su consumo. Se almacenan a 90°C , lo que obliga a utilizar serpentines en los tanques y calentadores en el circuito para elevar ese valor hasta los 150°C . De esta forma obtenemos la viscosidad recomendada para la utilización en el motor y bombas de inyección. La viscosidad del combustible fuel se deberá encontrar entre valores de 16 y 24 cSt. Pero antes de dimensionar los tanques, debemos calcular el consumo de combustible del buque.

Consumo de los motores principales. Este valor nos dirá el consumo de un motor principal sin perfil operativo. Ya que dependiendo de la ruta el valor variará, aunque comparando las distancias de las posibles rutas, el aumento o disminución de consumo no afecta al dimensionado de los tanques de forma excesiva.

$$\text{Consumo motor principal} = \frac{P_{85} \cdot C_e}{\rho_{\text{fuel}}} = \frac{5545 \cdot 0,177}{1010} = \mathbf{0,971 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$P_{85} = \text{Potencia MRC 85\% en kW}$$

$$C_e = \text{Consumo especifico en kg/kWh}$$

$$\rho_{\text{fuel}} = \text{Densidad del combustible kg/m}^3$$

Este valor de consumo de un motor principal, se le aplicará un margen del 5%.

$$\text{Consumo motor} + 5\% = 0,971 \pm 0,0485$$

Como el buque lleva instalados 4 motores principales iguales a los que lleva el buque Murillo, serán Wärtsilä 9L38 y su consumo total es:

$$\text{Consumo máximo cuatro motores} = 1,0195 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 4 = \mathbf{4,078 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Si realizásemos el cálculo con el perfil operativo, sabiendo la ruta, la carga, el tiempo de la mar, etc..., el valor que obtendríamos tendría una diferencia muy pequeña, y aunque es más detallado, se podría cometer errores al no tener todos los factores que intervendrían en la ruta.

Consumo motores auxiliares. Consumirán el mismo fuel-oil para su funcionamiento que los motores principales. En este caso el buque lleva instalados 3 motores auxiliares Wärtsilä 8L20. En el caso de los auxiliares, el consumo se realizará para el 100% de potencia del motor, para generar lo máximo posible.

$$\text{Consumo motor auxiliar} = \frac{P_{100} \cdot C_e}{\rho_{\text{fuel}}} = \frac{1600 \cdot 0,196}{1010} = \mathbf{0,310 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$P_{100} = \text{Potencia 100\% en kW}$$

$$C_e = \text{Consumo específico en kg/kWh}$$

$$\rho_{\text{fuel}} = \text{Densidad del combustible kg/m}^3$$

Este valor de consumo de un motor auxiliar, también se le aplicará un margen del 5%.

$$\text{Consumo motor} + 5\% = 0,310 \pm 0,0155$$

Como el buque lleva instalados 3 motores auxiliares iguales su consumo total es:

$$\text{Consumo máximo motores auxiliares} = 0,3255 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 3 = \mathbf{0,9765 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Estos dos consumos de fuel-oil, no son todos los consumos de combustible del buque, pero si los más representativos y los que definen el dimensionado de los tanques. El buque dispone de tres auxiliares y aunque uno pueda ser más de reserva que los otros dos, se calcula el consumo como si se utilizarán los tres de forma continua.

En el caso del motor de emergencia, no se tendrá en cuenta, ya que a la hora de calcular los consumos, no se sabe exactamente el tiempo de funcionamiento que podrá tener ya que, ha de ser posible, solo se arrancará para realizar mantenimiento y pruebas periódicas. El servicio de un buen motor de emergencia es aquel que no se debe utilizar nunca. Por lo que, en caso de emergencia como su nombre indica, el régimen de operación y utilización será puntual y como recurso extremo sin afectar en gran medida a las reservas de combustible.

El buque también dispone de caldera de emergencia y de incinerador. En ambos casos, el consumo de combustible es mínimo. En el caso del

incinerador, su uso se limita mucho dependiendo de la zona de navegación, por lo que sale más rentable descargar los residuos a tierra en cada una de las escalas que haga el buque. Por otro lado, la caldera auxiliar quemará tanto fuel-oil como diesel-oil. El vapor necesario para calentar el combustible no es muy elevado, además de poder utilizar resistencias eléctricas en ciertas partes del circuito. Su funcionamiento está limitado y nunca en régimen de operación continuo.

El último paso antes de entrar en el dimensionamiento de los tanques, será saber la cantidad total de combustible fuel-oil que deberá llevar el buque a bordo, asumiendo que su autonomía es de 6.000 millas y su velocidad de servicio de 22 nudos.

Consumo total de fuel =

Consumo motores principales + Consumo motores auxiliares =

$$4,078 + 0,976 =$$

$$\mathbf{5,054 \, m^3/h}$$

A continuación se calcula el tiempo teórico de crucero a partir de la autonomía y de la velocidad:

$$t = \frac{\text{autonomia}}{\text{velocidad}} = \frac{6.000 \text{ millas}}{22 \text{ nudos}} = \mathbf{272,72 \, h}$$

Con el dato del consumo y el tiempo teórico, calculamos el volumen total de combustible necesario para navegar durante el tiempo estipulado, consumiendo el valor obtenido a cada hora.

$$\mathbf{Volumen \, fuel = 5,054 \, m^3/h \cdot 272,72 \, h \approx 1378 \, m^3}$$

8.2.1.-Tanques de servicio diario

Se hará referencia a los tanques de servicio diario de fuel-oil, donde el combustible llega de las depuradoras, después de limpiar y adecantar el

combustible para su alimentación de los motores principales y auxiliares. Se dispondrán de tanques de capacidad parecida y colocados de forma simétrica en ambos costados del buque para compensar su peso.

Cada tanque calculado contendrá suficiente combustible para que el buque en cuestión pueda alimentar los motores principales y auxiliares durante una travesía de 8 horas como pueda ser Barcelona-Ibiza. Además a partir de las horas anteriores, se incrementará un 5% su capacidad para asegurar el abastecimiento del motor durante las horas establecidas.

El fondo del tanque estará un poco inclinado en dirección a la toma de salida para asegurar el vaciado completo del mismo y que no quede remanente en su interior. La capacidad de un tanque de servicio diario en toneladas es:

$$\begin{aligned}C_{\text{tanque servicio diario}} &= 1,05 \cdot \Sigma(C_e \cdot P_{\text{motor}}) \cdot 8 = \\1,05 \cdot (4 \cdot 177 \cdot 5545 + 3 \cdot 196 \cdot 1600) \cdot 8 \cdot 10^{-6} &= \\ \mathbf{40,879 \, t}\end{aligned}$$

$$P_{\text{motor}} = \text{Potencia motor en kW segun MCR}$$

$$C_e = \text{Consumo especifico en g/kWh}$$

$$C_{\text{tanque servicio diario}} = \text{Capacidad del tanque en t}$$

Como el cálculo debe incluir tanto los motores principales como auxiliares, hay que poner los consumos pertinentes, la potencia MCR establecida y por último, el número de motores de cada uno. El 5% añadido ya está en la fórmula superior al multiplicar por 1,05 la capacidad del tanque. Para pasarlo a m^3 utilizamos la densidad del combustible:

$$\text{Volumen tanque servicio diario} = \frac{\text{Capacidad tanque servicio diario}}{\rho_{\text{fuel}}} =$$

$$\frac{40,879}{1,01} = 40,5 \text{ m}^3$$

$$\rho_{fuel} = \text{Densidad del combustible } t/m^3$$

Se establecerán dos tanques de servicio diario de la misma capacidad para asegurar un abastecimiento constante de los motores.

8.2.2.-Tanques de sedimentación

Tanques de menor capacidad. Se encargan de recibir combustible de los tanques almacén y cumplir varios objetivos. Estos tanques con el almacenamiento del combustible, permite que la mayor parte de agua y sólidos en el combustible sedimenten en el fondo, para poderse drenar al tanque de lodos. También estos tanques pueden hacer la función de tanque para calentar y estabilizar térmicamente el combustible.

El buque dispondrá de un tanque de sedimentación. De poca profundidad, su fondo estará inclinado para facilitar la separación de agua y sedimentos del combustible. El tanque de sedimentación contendrá suficiente combustible para alimentar los motores principales y auxiliares durante 24 horas de funcionamiento. Debido a los lodos que se irán acumulando en el fondo del tanque, se dimensionara un 10% más del valor base. Su capacidad en toneladas es:

$$C_{\text{tanque de sedimentación}} = 1,1 \cdot \Sigma(C_e \cdot P_{\text{motor}}) \cdot 24 =$$

$$1,1 \cdot (4 \cdot 177 \cdot 5545 + 3 \cdot 196 \cdot 1600) \cdot 24 \cdot 10^{-6} =$$

$$\underline{\underline{128,479 \text{ t}}}$$

$$P_{\text{motor}} = \text{Potencia motor en kW segun MCR}$$

$$C_e = \text{Consumo específico en g/kWh}$$

$$C_{\text{tanque de sedimentación}} = \text{Capacidad del tanque en t}$$

Para pasarlo a m^3 utilizamos la densidad del combustible:

$$\text{Volumen tanque de sedimentación} = \frac{C_{\text{tanque de sedimentación}}}{\rho_{\text{fuel}}} =$$

$$\frac{128,479}{1,01} = 127,20 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{fuel}} = \text{Densidad del combustible t/m}^3$$

8.2.3.-Tanques de almacén

Tanques destinados a almacenar combustible pesado. Su llenado se produce por las tomas de cubierta desde un buque suministro o desde la misma terminal. Durante la operación de llenado, se taponan los imbornales de cubierta para evitar que una posible fuga de combustible pueda ir a parar al mar. El combustible de los tanques almacén, se trasvasa a los tanques de sedimentación anteriormente calculados. Se instalarán dos tanques almacén, dispuestos de forma simétrica respecto a la línea de crujía. La capacidad de los tanques almacén, se establecerá en función del tanque de sedimentación. Por lo que, al total de combustible que debe llevar el buque, se restará la capacidad del tanque de sedimentación. Una vez tenemos el volumen total de combustible a repartir entre los tanques almacén, se divide de forma equitativa entre los dos tanques.

$$V_{\text{fuel-oil libre}} = V_{\text{total}} - V_{\text{tanque sedimentación}} =$$

$$1378 \text{ m}^3 - 127,20 \text{ m}^3 = 1250,8 \text{ m}^3$$

Si se instalan dos tanques de combustible almacén en el buque, la capacidad de ambos tanques será de:

$$C_{\text{tanque almacen}} = \frac{V_{\text{fuel-oil libre}}}{2} = \frac{1250,8}{2} = 625,4 \text{ m}^3$$

8.2.4.-Tanques de diesel-oil

Este combustible, se utilizará para arrancar y parar el motor principal y los auxiliares y también para el generador de emergencia. El buque dispondrá de un tanque de servicio diario y de un tanque almacén de diese-oil.

El tanque de servicio diario tendrá una capacidad suficiente para abastecer al motor principal durante 10 horas, por si hay que realizar alguna travesía consumiendo diesel-oil. Los auxiliares tanto en navegación como en puerto se mantienen arrancados consumiendo fuel-oil, aunque también pueden consumir diesel-oil. Se dimensionara un 5% más la capacidad del tanque de servicio diario:

$$C_{\text{tanque servicio diario de diesel-oil}} = 1,05 \cdot \Sigma(C_e \cdot P_{\text{motor}}) \cdot 10 =$$

$$1,05 \cdot 4 \cdot 177 \cdot 5545 \cdot 10 \cdot 10^{-6} =$$

$$\underline{\underline{41,22 \text{ t}}}$$

$$P_{\text{motor}} = \text{Potencia motor en kW segun MCR}$$

$$C_e = \text{Consumo especifico en g/kWh}$$

$$C_{\text{tanque servicio diario de diesel-oil}} = \text{Capacidad del tanque en t}$$

$$\text{Volumen tanque de servicio diario de diesel - oil}$$

$$= \frac{C_{\text{tanque servicio diario de diesel}}}{\rho_{\text{diesel-oil}}} =$$

$$\frac{41,22}{0,89} = \underline{\underline{46,31 \text{ m}^3}}$$

$$\rho_{\text{diesel-oil}} = \text{Densidad del combustible t/m}^3$$

Respecto al tanque almacén, este se calcula su capacidad restando del total de diesel-oil requerido. El buque Murillo tenía una capacidad total de 145 t de diese-oil.

$$Volumen\ total\ de\ diesel = \frac{145\ t}{0,89\ t/m^3} = 162,92\ m^3$$

$$Volumenn\ tanque\ almacen\ diesel = 162,92\ m^3 - 46,31\ m^3 = \mathbf{116,61\ m^3}$$

El volumen de combustible diesel para los tanques almacen se dividirá en dos tanques iguales siendo cada uno de **58,30 m³**.

8.2.5.-Tanque colector de retornos de fuel y diesel

La capacidad de estos dos tanques se tomará igual al combustible empleado en 20 minutos de funcionamiento del motor principal:

$$C_{tanque\ retorno\ fuel\ y\ diesel} = 1,05 \cdot C_e \cdot P_{motor} \cdot \frac{1}{3} =$$

$$1,05 \cdot 4 \cdot 177 \cdot 5545 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-6} =$$

$$\mathbf{\underline{1,37\ t}}$$

$$P_{motor} = Potencia\ motor\ en\ kW\ segun\ MCR$$

$$C_e = Consumo\ especifico\ en\ g/kWh$$

$$C_{tanque\ retorno\ fuel\ y\ diesel} = Capacidad\ del\ tanque\ en\ t$$

Esta capacidad será igual para los dos tanques, lo único diferente será el volumen de los tanques al tener los combustibles diferente densidad:

$$Volumen\ tanque\ retorno\ fuel$$

$$= \frac{C_{tanque\ retorno\ fuel\ y\ diesel}}{\rho_{fuel-oil}} =$$

$$\frac{1,37}{1,01} = \mathbf{1,35\ m^3}$$

$$\rho_{fuel-oil} = Densidad\ del\ combustible\ t/m^3$$

$$Volumen\ tanque\ retorno\ diesel$$

$$= \frac{C_{tanque\ retorno\ fuel\ y\ diesel}}{\rho_{diesel-oil}} =$$

$$\frac{1,37}{0,89} = 1,21 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{diesel-oil}} = \text{Densidad del combustible } t/m^3$$

8.2.6.-Tanque de lodos

El tanque e lodos, se calculará con la misma fórmula que el buque Murillo y el Willy T. Primero deberemos calcular el consumo diario total. Como las travesías que puede realizar el buque superan un día, los consumos de los motores se calcularán según 24 horas. En el caso de los principales, cada uno funcionará 24 h, pero en los auxiliares, entre los tres completarán las 24 horas, por lo que cada uno funcionará unas 8 horas.

$$\text{Consumo motores principales} = 97,872 \text{ m}^3$$

$$\text{Consumo motores auxiliares} = 7,44 \text{ m}^3$$

$$\text{Consumo diario total (C): motores principales +} \\ \text{motores auxiliares} = 97,872 \text{ m}^3 + 7,44 \text{ m}^3 = 105,312 \text{ m}^3 = \mathbf{106,36 \text{ t}}$$

Como el combustible de los principales es fuel-oil y el cálculo se realizará con el consumo en **t**, el coeficiente **K₁ = 0,01** ya que el combustible hace falta purificarlo.

Por último, la duración de los viajes es de 24 horas, pero como las travesías variaran en función de la ruta establecida y esta no es conocida, la variable D, será igual a 30 días.

$$\text{Volumen tanque lodos} = K_1 \cdot C \cdot D = 0,01 \cdot 106,36 \text{ t} \cdot 30 = \mathbf{31,9 \text{ m}^3}$$

Aunque el consumo sea en t, el volumen se expresa en **m³**. El valor total del volumen del tanque de lodos, se dividirá en dos tanques iguales situadas uno a cada costado por valor cada uno de 16 **m³**. Dependiendo

de la ruta establecida el periodo de descarga será inferior al valor de 30 días, por lo que el volumen de los tanques es suficiente.

8.3.-Dimensionado de bombas, calentadores y depuradoras

Las bombas del sistema de combustible se instalarán según las especificaciones obtenidas de los cálculos, pudiendo ser tanto de desplazamiento positivo como centrifugas. Su accionamiento será a través de un motor eléctrico. Las bombas a dimensionar, serán las bombas de trasiego de combustible, alimentación y circulación. También se dimensionará la bomba de alimentación de caldera, del tanque de lodos. Se hará referencia a los calentadores de combustible y a las depuradoras de combustible.

8.3.1.-Bombas de trasiego

Bombas en el circuito de trasiego de combustible. En el buque se instalarán dos bombas de trasiego para dar servicio tanto a la línea de fuel como a la de diesel. De la línea de fuel, el combustible se aspira de los tanques almacén y se descarga en el de sedimentación o hacia las depuradoras. Requieren de un gran caudal para llenar rápidamente el tanque y que este, posteriormente este en reposo el máximo posible. En el caso del diesel-oil se utilizará una de las bombas cuando se requiera. Para hallar el caudal de las bombas, se utilizará la siguiente expresión contando el tiempo de llenado del tanque de sedimentación de 4 horas:

$$\text{Caudal bomba trasiego} = \frac{\text{Volumen tanque sedimentación}}{4} =$$
$$\frac{127,20}{4} = 31,80 \text{ m}^3/\text{h}$$

La presión de trabajo de la bomba será de 4 bar ya que el circuito entre tanques no requiere de una excesiva presión. Por lo tanto, la potencia mecánica y la potencia eléctrica o absorbida de la bomba se corresponden con las siguientes expresiones asimilando un rendimiento mecánico de la bomba de 0,6 y un rendimiento eléctrico de 0,8:

$$\text{Potencia mecánica} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{\text{mecánico}}} =$$

$$\frac{\frac{31,80}{3600} \cdot 4 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = \mathbf{5,888 \text{ kW}}$$

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\eta_{\text{eléctrico}}} =$$

$$\frac{5,888}{0,8} = \mathbf{7,360 \text{ kW}}$$

En el caso del diesel-oil el caudal requerido para trasegar el tanque es menor, ya que el uso de diesel-oil se produce en momentos puntuales y para tareas específicas. En la instalación se utilizarán dos bombas de trasiego situadas en paralelo. Hay muchos modelos en el mercado, el elegido, es de la marca ALLWEILER y se trata de una bomba centrífuga de la serie ALLMAG CMA. Es una bomba marina, para fluidos agresivos y de alta temperatura.

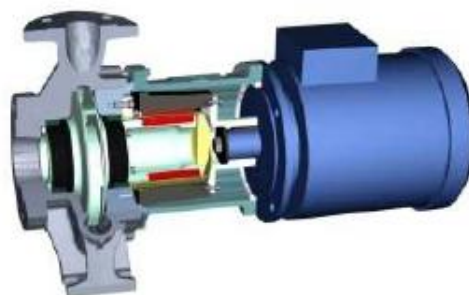


Imagen 75: Sección bomba centrífuga de trasiego.

Sus características de caudal y presión responden a las necesidades buscadas, además de la temperatura del fluido.

Capacity	Q	up to	80	m ³ /h
Delivery head	H	up to	55	m
Discharge pressure	pd	up to	16	bar
Fluid temperature	t	up to	150	°C

Tabla 47: Características bomba centrífuga ALLMAG CMA.

8.3.2.-Bombas de alimentación

Estas bombas aspiran combustible del tanque de servicio diario de fuel y diesel. El combustible es transportado hasta las bombas de inyección de los motores principales y auxiliares y su caudal por hora será ligeramente superior al máximo consumo de los motores. En este caso, el circuito de alimentación la bomba aspira a 5 bar para descargar el combustible a 10 bar, presión de trabajo de los motores principales en la admisión del combustible. Las bombas de alimentación se dividirán entre motor principal y auxiliar. En el caso de los motores principales tenemos cuatro motores alimentados por cuatro bombas de fuel y dos de diesel-oil. Las de fuel se encuentran en paralelo. En los auxiliares, hay dos bombas de alimentación de fuel y una de diesel-oil.

$$\text{Caudal combustible alimentación motores principales} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Caudal combustible alimentación motores auxiliares} = 1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los rendimientos mecánico y eléctrico serán el mismo. La potencia mecánica y la absorbida por la red son las siguientes para ambas alimentaciones, tanto de fuel-oil, como de diesel-oil:

Bombas alimentación motores principales:

$$Potencia\ mecánica = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{mecanico}} =$$

$$\frac{\frac{4}{3600} \cdot 10 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 1,851851852\ kW$$

$$Potencia\ absorbida = \frac{Potencia\ mecánica}{\eta_{eléctrico}} =$$

$$\frac{1,851851}{0,8} = 2,314818\ kW$$

Bombas alimentación motores auxiliares:

$$Potencia\ mecánica = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{mecanico}} =$$

$$\frac{\frac{1}{3600} \cdot 10 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 0,462962\ kW$$

$$Potencia\ absorbida = \frac{Potencia\ mecánica}{\eta_{eléctrico}} =$$

$$\frac{0,462962}{0,8} = 0,578703\ kW$$

En este caso las bombas de alimentación aspirarán el combustible a 5 bar, que viene impulsado por la bomba de circulación, para aumentar esta presión hasta los 10 bar para su entrada en los motores principales y auxiliares. Este salto de presión lo conseguimos con otra bomba de ALLWEILER, en este caso se trata de una bomba de tres husillos de la serie ALLFUEL AFI. Bomba de aplicación marina y para instalaciones de combustible. Las características son las siguientes.

Capacity	Q	up to	112	l/min
Inlet pressure	ps	up to	5	bar
Discharge pressure	pd	up to	40	bar
Differential pressure	pdiff	up to	40	bar
Viscosity	v	up to	1..750	mm ² /s
Fluid temperature	t	up to	150	°C
Speed	n	up to	3600	1/min

Tabla 48: Características bomba alimentación ALLFUEL AFI.

8.3.3.-Bombas de circulación

Bomba en el mismo circuito que las de alimentación. Van introducidas dentro del modulo de tratamiento y pre-alimentación. Aspiran combustible desde los tanques de servicio diario de fuel-oil. En este caso la presión de trabajo es similar a la aspiración y la descarga. No habrá de diesel-oil, ya que solo habrá de alimentación de diesel-oil al no tener que pasar ningún tratamiento para su combustión a parte de la depuración. Por lo tanto, en los motores principales habrá cuatro bombas de circulación y en los auxiliares dos bombas de fuel-oil de circulación. En ambos casos, la bomba trabajará a 5 bar de presión.

Bombas circulación motores principales:

$$Potencia\ mecánica = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{mecánico}} =$$

$$\frac{\frac{4}{3600} \cdot 5 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 0,9259\ kW$$

$$Potencia\ absorbida = \frac{Potencia\ mecánica}{\eta_{eléctrico}} =$$

$$\frac{0,9259}{0,8} = 1,157407407\ kW$$

Bombas circulación motores auxiliares:

$$Potencia\ mecánica = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{mecánico}} =$$

$$\frac{\frac{1}{3600} \cdot 5 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = \mathbf{0,231481\ kW}$$

$$Potencia\ absorbida = \frac{Potencia\ mecánica}{\eta_{eléctrico}} =$$

$$\frac{0,231481}{0,8} = \mathbf{0,2893518\ kW}$$

Las bombas de circulación al no tener que levantar una diferencia de presión como las de alimentación, estas serán ALLWEILER de tornillo, aptas para manejar combustible ligero o pesado en instalaciones marinas de combustible. La serie elegida para esta ocasión es la serie BAS y las características de la bomba son las siguientes:



Imagen 76: Bomba circulación serie BAS.

Capacity	Q	up to	110	l/min
Inlet pressure	ps	up to	5	bar
Discharge pressure	pd	up to	6	bar
Differential pressure	pdiff	up to	6	bar
Viscosity	v	up to	3..760	mm ² /s
Fluid temperature	t	up to	150	°C
Speed	n	up to	3600	1/min

Tabla 49: Características bomba serie BAS.

8.3.4.-Bombas de alimentación de calderas

Se instalarán dos bombas de alimentación, dejando una de ellas de respeto. A través del consumo de la caldera, se conoce el caudal de combustible que deberán aportar las bombas. El consumo de combustible de la caldera es:

$$\text{Consumo caldera} = \frac{\text{Consumo unitario quemador}}{\rho_{\text{fuel-oil}}} =$$

$$\frac{2900}{1010} = 2,87 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo unitario quemador} = 2900 \text{ kg/h}$$

$$\rho_{\text{fuel-oil}} = \text{Densidad del combustible kg/m}^3$$

La presión de trabajo es de 5 bar, por lo que la potencia requerida en la bomba es:

$$\text{Potencia mecánica} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{\text{mecánico}}} =$$

$$\frac{\frac{2,87}{3600} \cdot 5 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 0,66435 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\eta_{\text{eléctrico}}} =$$

$$\frac{0,66435}{0,8} = 0,8304398 \text{ kW}$$

Para la caldera, las dos bombas de alimentación serán las mismas utilizadas para la alimentación de fuel-oil de los motores. La diferencia será la presión de descarga que en la caldera deberá ser de 7 bar ya que la presión de trabajo de la caldera es de 6,5 bar. La caldera auxiliar del buque tiene las siguientes características:

Marca	AALBORG INDUSTRIES A/S
Cantidad	1
Modelo	MISSION™ OS MODEL 3300
Consumo mechero	2900 Kg / h
Tipo mechero	WH RMS9
Presión de trabajo	6,5 bar
Temperatura de trabajo	170°C
Peso vacía/llena	8700 / 13800 Kg

Tabla 50: Características caldera auxiliar.

8.3.5.-Bombas de las depuradoras

En este tipo de bombas del circuito de depuración. El combustible procede de sedimentación o almacén y la capacidad de estas bombas se calculará con un tiempo de funcionamiento de depuración de 23 horas, es decir, separando combustible para llenar el tanque de servicio diario cada 23 horas. El cálculo del caudal dependerá de los consumos de los motores principales y auxiliares y de la densidad del combustible. Por lo que, se realizará el cálculo para fuel-oil y diesel-oil.

$$\begin{aligned}
 \text{Caudal depuradoras fuel} &= \frac{P_{motor} \cdot C_e \cdot 24}{\rho_{fuel-oil} \cdot 23} = \\
 &= \frac{((4 \cdot 5545 \cdot 177) + (3 \cdot 1600 \cdot 196)) \cdot 24}{1010 \cdot 23} \cdot 10^{-3} = \mathbf{5,02 \text{ m}^3/h} \\
 \text{Caudal depuradoras de diesel} &= \frac{P_{motor} \cdot C_e \cdot 24}{\rho_{diesel-oil} \cdot 23} = \\
 &= \frac{((4 \cdot 5545 \cdot 177) + (3 \cdot 1600 \cdot 196)) \cdot 24}{890 \cdot 23} \cdot 10^{-3} = \mathbf{5,70 \text{ m}^3/h}
 \end{aligned}$$

La presión de trabajo será de 4 bares como en el circuito de trasiego para compensar pérdidas de carga, y se tomarán los mismos rendimientos hasta ahora utilizados. Como el uso de combustible diesel-oil, se reduce a ciertas operaciones puntuales, el consumo en los motores principales y

auxiliares es muy inferior al fuel, y por lo tanto el caudal de depuración de la depuradora de diesel se puede reducir a un cuarto respecto al caudal de la depuradora de fuel-oil.

$$\text{Caudal depuradora diesel} = \frac{5,70}{4} = 1,425 \text{ m}^3/\text{h}$$

La potencia requerida de las bombas será:

Bombas depuradoras fuel:

$$\text{Potencia mecánica} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{\text{mecánico}}} =$$

$$\frac{\frac{5,02}{3600} \cdot 4 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 0,9296 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\eta_{\text{eléctrico}}} =$$

$$\frac{0,9296}{0,8} = 1,16 \text{ kW}$$

Bombas depuradoras diesel:

$$\text{Potencia mecánica} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{\text{mecánico}}} =$$

$$\frac{\frac{1,425}{3600} \cdot 4 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 0,263 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\eta_{\text{eléctrico}}} =$$

$$\frac{0,263}{0,8} = 0,329 \text{ kW}$$

Las bombas de las depuradoras, irá dentro del modulo de tratamiento de diesel-oil y fuel-oil.

8.3.6.-Depuradoras de combustible

El circuito del buque Murillo, lleva instaladas dos depuradoras de fuel y una de diesel-oil. El que solo haya una depuradora de diesel, es suficiente

para realizar las tareas de depuración del combustible ya que al ser un combustible más limpio su depuración no es tan importante como en el caso del fuel-oil. Las capacidades anteriores de depuración influirán en el modelo elegido. Por lo tanto, a la hora de buscar el modelo, nos referiremos a:

$$\text{Caudal depuradora fuel} = 5,02 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Caudal depuradora diesel} = 1,425 \text{ m}^3/\text{h}$$

En el caso del modulo de purificación de fuel-oil, se instalará un modelo AlfaLaval Fuel Oil Cleaning Unit Solution (FOCUS), es un sistema modular para fuel-oil con el objetivo de eliminar todas las trazas contaminantes del mismo que pueda afectar a la combustión. Por el caudal asignado a la depuradora de fuel y la presión de trabajo, se especifica el modulo de depuración FOCUS 12.



Imagen 77: Módulo FOCUS-12 de depuración de fuel-oil.

En el caso de la depuradora de diesel-oil, el combustible es un combustible destilado. El caudal requerido para el modulo de depuración es menor. La marca del módulo también es AlfaLaval, pero de diferente

serie, en este caso es MMPX, más específicamente MMPX 403. Las características de este modulo para diesel-oil son:

Marca	ALFA LAVAL
Cantidad	1
Modelo	MMPX 403
Caudal	1700 m^3/h
Bomba alimentación	BT – MM 25 D2
Unidad de control	EPC-41

Tabla 51: Características del módulo MMPX 403.

8.3.7.-Calentadores de combustible

Habrán repartidos a lo largo de los circuitos de combustible aproximadamente unos 7 pudiendo ser más dependiendo de la construcción final. Se instalarán pre-calentadores antes de que el combustible acceda a las depuradoras de combustible, tanto de fuel-oil como de diesel-oil y otros dos en el sistema de alimentación de los motores principales antes de la admisión en las bombas. Por lo tanto, los parámetros que cambiarán serán la presión de su instalación. En el caso de los pre-calentadores de las depuradoras, estos deberán dejar el combustible a 95-98 °C y una presión de trabajo de 4 bar para que pueda acceder a la depuradoras con los parámetros correctos. En el caso de los calentadores del circuito de alimentación, la presión de trabajo es mayor ya que la bomba de alimentación debe descargar a 10 bar para la entrada en el motor principal y auxiliar. La temperatura de entrada en el calentador será de aproximadamente 90°C viniendo de los tanques de servicio diario y 150°C de descarga para la entrada en los motores. La viscosidad del último calentador se debe mantener en 16 y 24 cSt según la recomendada por el fabricante del motor.

En cada calentador, se instalaran medios de control de temperatura necesarios para evitar el sobrecalentamiento del combustible. Alarmas de alto nivel para no sobrepasar la temperatura de entrada a la depuradora y también a las bombas de alimentación del circuito de combustible. En el caso del calentador de vapor del circuito de alimentación, el vapor una vez realizado su cometido ha de llevarse a un depósito de observación donde se observará la posibilidad de contaminación del agua de alimentación de la caldera.

8.3.8.-Bomba del tanque de lodos

Bomba destinada a vaciar por completo un tanque de lodos para que este efluente vaya al incinerador o al exterior para su tratamiento y procesado. Al disponer de dos tanques de 16 m^3 , la bomba se dimensionara para ser capaz de vaciar el tanque en 3 horas. Cada tanque llevará su propia bomba para agilizar la descarga a una misma línea. La presión de trabajo es de 5 bar al tener que vencer el salto de presión entre el doble fondo y la cubierta principal.

$$\text{Caudal bomba lodos} = \frac{\text{volumen tanque lodos}}{\text{tiempo descarga}} = \frac{16}{3} = 5,333 \text{ m}^3/\text{h}$$

La potencia necesaria para la bomba es de:

$$\text{Potencia mecánica} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_{\text{mecánico}}} = \frac{\frac{5,33}{3600} \cdot 5 \cdot 10^5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 1,233 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\eta_{\text{eléctrico}}} = \frac{1,233}{0,8} = 1,542 \text{ kW}$$

8.4.-Tuberías del circuito

Los circuitos no serían nada con solos sus bombas, válvulas y otras maquinarias. Las tuberías son una parte fundamental del circuito y forman un conjunto de vías de conducción cerrada, cuya función es transportar el fluido de un punto a otro. Estos generalmente son cilíndricos y el material variará en función de del tipo de fluido, consideraciones técnicas y económicas. Para seleccionar el tipo de material y el tamaño, intervendrán varios aspectos a tener en cuenta a la hora de elegir los requisitos finales. En el caso del tamaño, es importante tener en cuenta, la resistencia que debe ofrecer la tubería al flujo del sistema, tal como presiones y flujos de diseño; también las velocidades de flujo serán importantes para dimensionar la tubería para que no se produzcan turbulencias, erosiones o ruidos; otro aspecto son los factores adicionales como el peso de la tubería y facilidad de fabricación.

Los accesorios que juntamente con las tuberías formaran el conjunto de la red de los circuitos, son piezas moldeadas o mecanizadas que forman las líneas estructurales de la instalación. Estos accesorios son bridas, codos, tes, reducciones, acoples, válvulas y bombas.

8.4.1.-Aislamiento térmico

El combustible y sobre todo el fuel-oil, debe de encontrarse a una cierta temperatura para su bombeo y circulación, de forma que su viscosidad disminuya y pueda ser transportado de un punto a otro del sistema de combustible. Por lo tanto, todos las tuberías el sistema de combustible deberán estar equipadas adyacentemente con una línea de vapor. Este vapor lo obtenemos de la caldera auxiliar. Estas líneas de vapor solo estarán unidas a las tuberías de fuel-oil. Las de diesel-oil no estarán

acompañadas. Además de la tubería de vapor, ambas tuberías estarán recubiertas con un aislante térmico, de esta forma obtenemos la temperatura deseada en el combustible y la facilidad para fluir por dentro de la tubería y de ser transportado a lo largo del circuito. El acompañamiento de líneas de vapor, se realizará cuando el flujo de combustible este en funcionamiento y se produzca una pérdida de temperatura. En este caso el acompañamiento será necesario realizarlo a lo largo de la instalación. Por otro lado, se hará necesario el uso de acompañamiento de vapor cuando el motor ha estado parado durante mucho tiempo y las tuberías se han enfriado. El recubrimiento de aislante térmico entre las dos tuberías, permitirá formar un espacio aislado del ambiente exterior, diseñado para reducir al máximo las pérdidas de calor con el exterior.

El aislamiento térmico de las tuberías, requieren de ciertas observaciones a la hora de proceder a su montaje o a su mantenimiento:

- El aislamiento no debe instalarse hasta que los sistemas de tuberías hayan sido sometidas a pruebas de presión específicas y se hayan aprobado por la sociedad de clasificación. Esto se establece para su montaje inicial o para una reparación en dique seco donde es necesario cortar y volver a instalar un tramo de tubería.
- La opción de un solo tubo como acompañamiento es una opción más sencilla para su montaje, aunque presente un rendimiento térmico inferior.
- Para mantener la temperatura y no haber perdidas, entre el aislante y los tubos, se puede instalar una malla metálica o papel folio de aluminio que rodee los tubos.

El aspecto y esquema de la tubería de acompañamiento y la tubería de combustible es el siguiente:

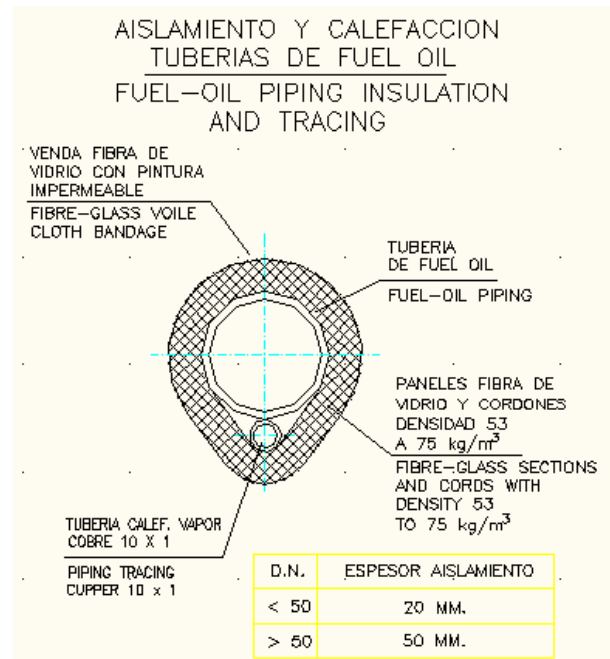


Imagen 78: Esquema aislamiento y calefacción tuberías fuel-oil.

En la imagen superior, hay la tubería de combustible fuel-oil en el centro, acompañado de una tubería de menor diámetro por la parte inferior de calefacción de vapor. Alrededor de ambas se establecen diferentes capas empezando con paneles de fibra de vidrio y cordones, de cierto espesor, seguido de una venda de fibra de vidrio con pintura impermeable en la capa exterior. El espesor del aislamiento vendrá dado por el diámetro nominal de la tubería de combustible pudiendo ser de 20 mm o 50 mm de espesor.

8.4.2.-Materiales tubería

En cualquier sistema del buque donde los fluidos son dispares, ya sea aceite, aguas negras, u otros efluentes, la selección de los materiales para cada circuito es importantísimo. En el caso de las tuberías de combustible líquido en caliente y trabajando a presión, se debe elegir según las

necesidades de las mismas. A continuación tenemos una lista con los efluentes y sus materiales, relaciones establecidas y obtenidas de American Bureau of Shipping.

Servicio	Aplicaciones
Agua salada (lastre sentinas)	Acero al carbono, galvanizado
Agua salada (refrigeración, destilador)	Cu-Ni 90/10, GRP
Agua dulce refrigeración	Acero al carbono, GRP
Agua potable	Cobre, PVC, GRP
Agua refrigerante	Cobre, PVC, GRP
Aceite	Acero al carbono
Fuel (motor diesel, caldera)	Acero al carbono
Fuel (turbinas de gas)	Acero inoxidable
Fuel (aviación)	Cu-Ni 90/10, 70/30
Crudo	Acero al carbono, hierro dúctil
Vapor	Acero aleado, acero al carbono
Condensado	Acero al carbono, cobre
Agua de alimentación	Acero al carbono
Drenajes sanitarios (dulce)	Acero al carbono, PVC, GRP
Drenajes sanitarios (salada)	Acero al carbono, PVC, GRP
Respiros	Acero al carbono, PVC, GRP
Aire comprimido	Acero al carbono, cobre
Aceite hidráulico	Acero al carbono, acero inoxidable, cobre
Refrigerantes	Cobre
Fluidos criogénicos	Acero inoxidable
CO ₂ , Cl	Acero al carbono
Agua salada rociadores	Acero inoxidable, Cu-Ni 90/10
Espuma Cl	Acero al carbono

Fuente: American Bureau of Shipping

Tabla 52: *Materiales y servicios en tuberías.*

Si nuestro servicio es fuel para motor diesel y caldera, el material elegido para la fabricación de las tuberías, es acero al carbono laminado. Este será sin soldadura. Si hubiese o se utilizase un material parecido y aprobado para esta aplicación también sería correcto.

El acero al carbono se caracteriza por:

- Tener una gran resistencia al choque, entre material y efluente.
- El material puede trabajar a temperatura y presión elevada.
- Posee buenas propiedades de resiliencia y tenacidad, para poder deformarse debido a las tensiones que pueda sufrir la tubería.
- Se pueden mecanizar y soldar, permitiendo la formación de giros y codos en el recorrido por la instalación.

El inconveniente principal que presenta el material es su tendencia a oxidarse, motivo importante en el buque donde el ambiente marino está presente en cada punto, aunque con un tratamiento correcto por el exterior de la tubería puede subsanarse el inconveniente y no tener problemas corrosivos. El combustible por el interior de la tubería se encargará de lubricar y de impedir la oxidación.

Una vez elegido el material de las tuberías, hay que prestar atención a la compatibilidad con los materiales de los accesorios de forma que la resistencia sea parecida y las uniones entre materiales sean fáciles y posibles para controlar la corrosión galvánica en el peor de los casos. Las combinaciones más usuales son:

Material de tubería	Material de válvulas y accesorios
Acero	Acero, hierro fundido
Acero inoxidable	Acero inoxidable
Cupro-Níquel	Bronce, Monel, Cu-Ni, hierro dúctil
Cobre	Bronce, Cobre
GRP	GRP, metálico

Fuente: American Bureau of Shipping

Tabla 53: *Compatibilidades material tubería y accesorios.*

8.4.3.-Dimensionado de los tubos

Es uno de los elementos principales y de mayor proporción dentro de los diferentes circuitos de combustible. Son los que conducen el combustible ya sea fuel o diesel desde un punto a otro de la instalación para dar servicio a motores, quemadores o cualquier elemento que lo precise. A la hora de dimensionar los tubos, nos centraremos en la aspiración y la descarga de las bombas calculadas anteriormente. La instalación de los tubos en la instalación no solo depende de este factor, aunque sí que rige de forma importante el diámetro de la tubería y por lo tanto el espesor. Posteriormente, la disposición de los tubos y el recorrido que deben realizar estos vendrá determinada por otras características constructivas y de posicionamiento de otros elementos que pueden provocar variaciones en ciertos tramos de las dimensiones. Para realizar el cálculo y pudiendo utilizar diversas formas conociendo el caudal y la velocidad del fluido, se determinarán tomando como referencia la Guía de Diseño y las tabla de diámetros interiores para tuberías de acero DIN 2448 sin soldadura de Navantia. A través de un gráfico donde entramos con el caudal establecido por la bomba, obtenemos el diámetro interior de la aspiración de la tubería hacia la bomba. Con este diámetro interior accedemos a unas tablas, donde obtenemos el valor del diámetro exterior, nominal y el espesor de la tubería. Esto es aplicable para cada tubo de combustible del sistema del buque. Se puede ver con la obtención del diámetro interior que al no coincidir con uno establecido en la tabla, se puede extrapolar, o elegir un valor superior o inferior. Por eso, la importancia de ver la instalación y la disposición de los elementos en la misma para decidir cual se adapta mejor por tamaño y peso. La gráfica para calcular el diámetro nominal es la siguiente:

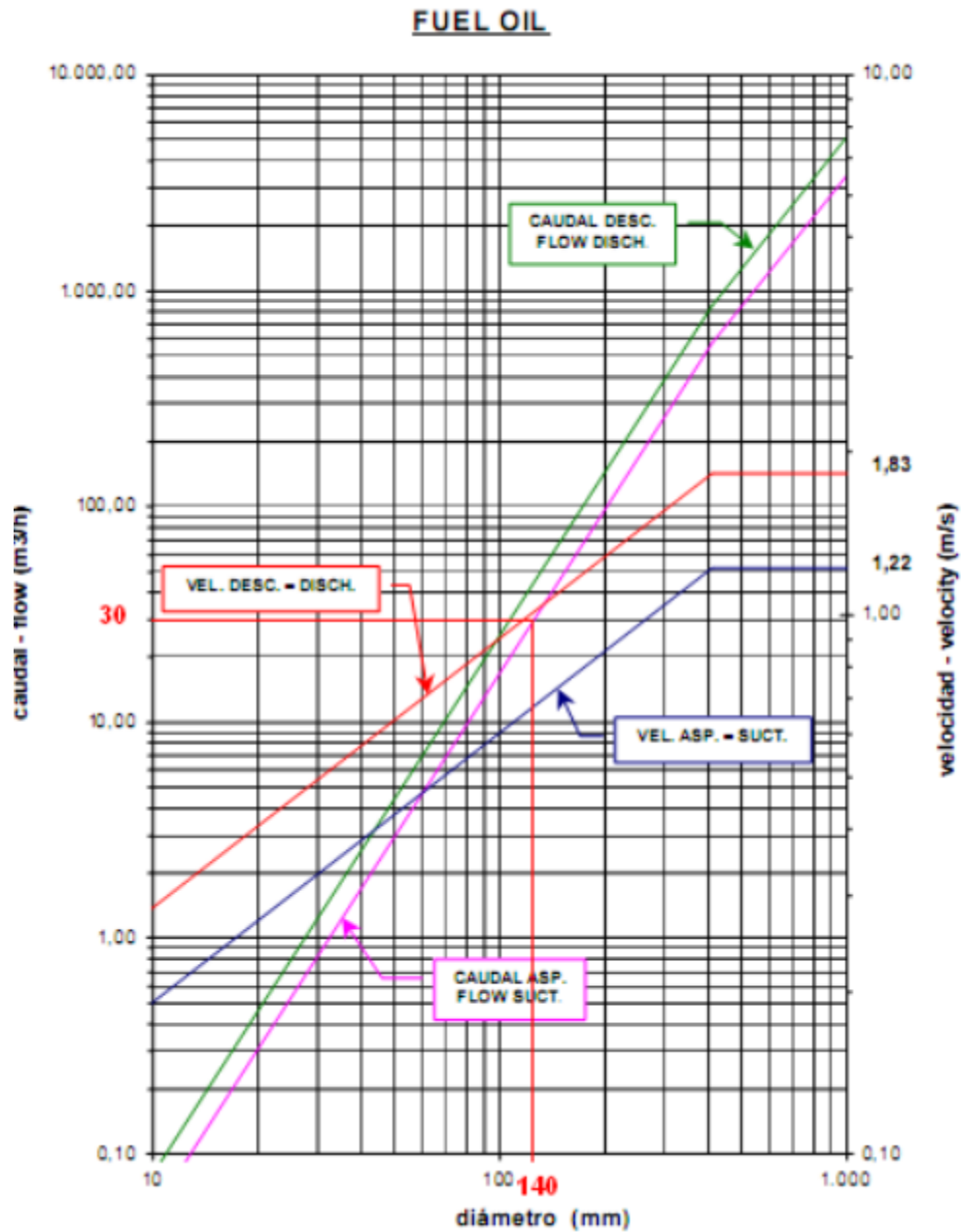


Imagen 79: Gráfica relación caudal-diámetro interior.

Una vez tenemos el diámetro interior, vamos a la tabla de valores, donde se tomará el valor inmediatamente superior al valor obtenido en la gráfica. De esta forma tendremos el diámetro exterior, el espesor y el diámetro nominal de la tubería.

Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
15	21,3	3,2	14,9
20	26,9	3,2	20,5
25	33,7	3,2	27,3
32	42,4	3,6	35,2
40	48,3	3,6	41,1
50	60,3	4,5	51,3
65	76,1	4,5	67,1
80	88,9	5	78,9
100	114,3	4,5	105,3
125	139,7	5,6	128,5
150	168,3	5,6	157,1
200	219,1	7,1	204,9
250	273	7,1	258,8
300	323,9	8,8	306,3
350	355,6	8,8	338
400	406,4	11	384,4
500	508	12,5	483
600	610	14,2	581,6

Fuente: Navantia

Tabla 54: *Diámetros y espesores tuberías.*

A continuación hay los valores de las diferentes líneas siguiendo el método de cálculo, en la primera tabla los valores de la aspiración y en la segunda tabla los valores de la descarga. En la descarga se cogerán las dimensiones menores consecutivas de la aspiración. En el caso de trasiego de diesel-oil como en las líneas de purificación, el caudal de combustible se establecerá como una cuarta parte del utilizado para fue-oil:

Tramo Aspiración	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)
Línea trasiego fuel-oil	150	168,3	157,1	5,6
Línea trasiego diesel-oil	80	88,9	78,9	5

Purificadoras fuel-oil	65	76,1	67,1	4,5
Purificadoras diesel-oil	40	48,3	41,1	3,6
Circulación motores principales	65	76,1	67,1	4,5
Circulación motores auxiliares fuel-oil	32	42,4	35,2	3,6
Alimentación caldera	50	60,3	51,3	4,5
Circuito del lodos	65	76,1	67,1	4,5

Tabla 55: *Tramos aspiración circuitos combustible.*

En el caso de la circulación y alimentación de los motores principales y auxiliares, al tratarse de un módulo de tratamiento de un fabricante, se establece la aspiración de la bomba de circulación y la descarga de la bomba de alimentación.

Tramo Descarga	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)
Línea trasiego fuel- oil	125	139,7	128,5	5,6
Línea trasiego diesel-oil	65	76,1	67,1	4,5
Purificadoras fuel-oil	50	60,3	51,3	4,5
Purificadoras diesel-oil	32	42,4	35,2	3,6
Alimentación	50	60,3	51,3	4,5

motores principales				
Alimentación motores auxiliares	25	33,7	27,3	3,2
Alimentación caldera	40	48,3	41,1	3,6
Circuito del lodos	50	60,3	51,3	4,5

Tabla 56: *Tramos descarga circuito combustible.*

8.5.-Pérdidas de carga

Ahora que ya hemos establecido los diámetros de las tuberías de aspiración y descarga, se calcularán las pérdidas de carga sobre dichas tuberías. Para ello se seguirá el esquema del buque Murillo, pero no las dimensiones ya que para eso se han calculado los diámetros y espesores. Es para tener una referencia a la hora de establecer elementos y pérdidas locales de carga. Por lo tanto, si en el circuito se veía un cambio de sección al salir de los tanques para acabar en otro, a la aspiración de la bomba, en el cálculo de las pérdidas este diámetro será el mismo, por lo que los cambios constructivos posteriores no se tomarán en cuenta y serán parte de modificaciones posteriores a la aproximación propuesta en este punto.

No se calcularán todas las posibilidades de pérdidas en cada circuito, sino que se examinarán las líneas donde la pérdidas son mayores y pueda afectar al funcionamiento. Las distancias de las tuberías y del circuito en general, se obtienen comparando con otros buques, por lo que estas a la hora de realizar la instalación pueden variar, aunque la variación no sea excesiva. Con estos cálculos tenemos una aproximación de los valores de pérdidas en cada tramo dimensionado.

El fluido recorrerá las tuberías, generando unas pérdidas de carga ya sea por pasar elementos locales como válvulas, codos u otra disposición, o por el mero rozamiento con la cara interna de la tubería. Por lo tanto, hay varios motivos a tener en cuenta. Para ver su comportamiento, definimos que realizaremos el cálculo desde dos puntos conocidos en la instalación con ciertas variables conocidas a través de cálculos o establecidos por los requisitos de la instalación.

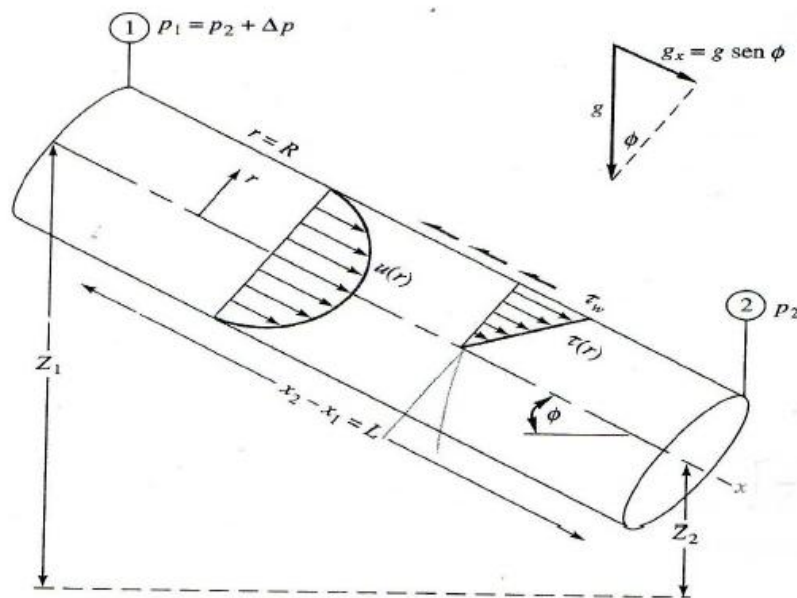


Imagen 80: Condiciones generales volumen de control.

En base a esta disposición de entrada y salida, se establecerá la ecuación de continuidad unidimensional, para llegar a la obtención del valor de las pérdidas de carga entre estos dos puntos. El flujo se definirá como estacionario e incompresible. En este caso tenemos que podemos simplificar los parámetros al considerar que:

$$Q_1 = Q_2 = cte$$

$$v_1 = v_2 = v$$

Como se ha dicho anteriormente, la tubería en su recorrido será constante en sección y no se tendrán en cuenta modificaciones constructivas posteriores para facilitar la instalación. Como no hay cambio de sección, no hay modificaciones en la velocidad (v), ni de caudal (Q) del flujo y esta será igual en ambos puntos de la tubería. De esta forma podemos realizar un análisis del volumen de control de ese tramo de tubería. Como se trata de una tubería, o se consideran partes móviles como las bombas, ni transferencia de calor, por lo que podemos simplificar la expresión de energía para flujo estacionario.

$$\left[\frac{P}{\varphi * g} + \alpha \frac{v^2}{2 * g} + z \right]_1 = \left[\frac{P}{\varphi * g} + \alpha \frac{v^2}{2 * g} + z \right]_2 + hf$$

$\alpha =$ factor de correlación de energía cinética

$\varphi =$ Densidad del fluido

$z =$ altura de situación del punto de análisis

$h_f =$ Pérdidas de carga

Como las condiciones son de flujo estacionario y la velocidad es la misma en ambos extremos, el factor de energía cinética es el mismo en cada extremo, por lo que se simplifica la ecuación:

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

$$\left[\frac{P}{\varphi * g} + z \right]_1 = \left[\frac{P}{\varphi * g} + z \right]_2 + hf$$

$$hf = \left[\frac{P}{\varphi * g} + z \right]_1 - \left[\frac{P}{\varphi * g} + z \right]_2$$

$$hf = \left(\frac{P_1}{\varphi_1 * g} - \frac{P_2}{\varphi_2 * g} \right) + (z_1 - z_2) = \frac{\Delta P}{\varphi * g} + \Delta z$$

$$\boxed{hf = \frac{\Delta P}{\varphi * g} + \Delta z}$$

En los pasos anteriores, se ve una reducción en los términos de la ecuación, despejando el parámetro que nos interesa, que son las pérdidas y dejándolo en función del resto. Como la densidad del fluido es la misma y no sufre variaciones se juntan en un único término, junto a la diferencia de presión entre extremos y la diferencia de altura entre ambos puntos de la tubería. Al final obtenemos una expresión de pérdidas. Por lo tanto, la pérdida de carga en la tubería estará relacionada con la presión de la misma y la altura que deba sortear el fluido en su recorrido.

Con esta expresión vamos a ver su relación con la ecuación de cantidad de movimiento del volumen de control.

$$\overline{F} = \varphi * Q * (\overline{v_2} - \overline{v_1}) = \dot{m} * (\overline{v_2} - \overline{v_1})$$

En esta expresión intervienen dos parámetros conocidos de la expresión anterior como la presión y la gravedad que actúan sobre el fluido, pero además se le añade un nuevo término como es la fricción de la pared sobre el fluido.

$$\sum F_x = \Delta P * (\pi * R^2) + \varphi * g * (\pi * R^2) * L * \sin \theta - \tau_w * (2 * \pi * R) * L = \dot{m}(v_2 - v_1) = 0$$

$$\Delta z = l * \sin \theta$$

Al final la expresión de fuerzas aplicadas engloba la diferencia de presión entre extremos, la gravedad y el incremento de altura, y por último el término de la fricción de la pared sobre el fluido, donde:

$$\tau_w = \text{Esfuerzo de cortadura sobre el fluido}$$

$$\Delta z + \frac{\Delta P}{\varphi * g} = hf = \frac{2 * \tau_w * L}{\varphi * g * R} = \frac{4 * \tau_w * L}{\varphi * g * d}$$

Al final la pérdida de carga, será proporcional al esfuerzo de cortadura de la pared de la tubería sobre el fluido. A través del profesor Julio Weishbach, se puede correlacionar la pérdida de carga con los problemas del flujo en los conductos con la siguiente expresión:

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$$f = \text{Coeficiente de fricción de Darcy.}$$

$$L = \text{Longitud de la tubería en m.}$$

El parámetro f , tiene relación con el número de Reynolds, la forma del conducto y por último la rugosidad del mismo. Por lo tanto, dependiendo

del material utilizado y su forma de fabricación, también influirá el parámetro de la rugosidad:

MATERIAL	ε (mm)
Vidrio	liso
Cobre o latón estirado	0.0015
Latón industrial	0.025
Acero laminado nuevo	0.05
Acero laminado oxidado	0.15 a 0.25
Acero laminado con incrustaciones	1.5 a 3
Acero asfaltado	0.015
Acero soldado nuevo	0.03 a 0.1
Acero soldado oxidado	0.4
Hierro galvanizado	0.15 a 0.2
Fundición corriente nueva	0.25
Fundición corriente oxidada	1 a 1.5
Fundición asfaltada	0.12
Fibrocemento	0.025
P.V.C	0.007
Cemento alisado	0.3 a 0.8
Cemento bruto	Hasta 3
Acero roblonado	0.9 a 9

Tabla 57: *Parámetro de rugosidad en función del material.*

La forma del conducto tendrá mayor importancia si esta no es circular, ya sea cuadrada o triangular. Por lo que, no se tendrá en cuenta al considerarse circular.

$$\Delta z + \frac{\Delta P}{\varphi * g} = hf = \frac{2 * \tau_w}{\varphi * g} \frac{L}{R} = \frac{4 * \tau_w}{\varphi * g} \frac{L}{d}$$

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2 * g}$$

$$hf = hf$$

$$\frac{4 * \tau_w}{\varphi * g} * \frac{L}{d} = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2 * g}$$

$$\frac{4 * \tau_w}{\varphi * g} * \frac{L}{d} = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$\frac{4 * \tau_w}{\varphi} = f \frac{v^2}{2}$$

Con ambas expresiones, tanto la obtenida por la ecuación de conservación de movimiento, como la aportada por Julio Weishbach, se realiza una igualación de ambas. De dicha igualación se pueden eliminar los términos de longitud y diámetro de las tuberías o lo que es más significadito, la forma de la tubería.

$$f = \frac{8 \cdot \tau_w}{\varphi \cdot v^2}$$

A través de la expresión encontrada de f , esta se sustituye en la expresión de Julio Weishbach:

$$hf = \left(\frac{8 * \tau_w}{\varphi * v^2} \right) * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2 * g} = \frac{8 * \tau_w * L}{\varphi * d * 2 * g}$$

$$hf = \frac{8 * \tau_w * L}{\varphi * d * 2 * g} = \frac{4 * \tau_w * L}{\varphi * d * g}$$

$$\boxed{hf = \frac{4 * \tau_w * L}{\varphi * d * g}}$$

Al final obtenemos una nueva expresión de las pérdidas, teniendo en cuenta la acción cortante de la pared de la tubería sobre el fluido. Pero además de las pérdidas de carga por fricción, existen otras pérdidas menores. De estas pérdidas, algunas no serán tenidas en cuenta en los cálculos:

- **Pérdidas de entrada y salida de tuberías**, estas serán las pérdidas en la admisión y descarga de las bombas sobre la que basaremos los cálculos.
- **Pérdidas por ensanchamiento o contracción brusca**, las tuberías mantendrán su diámetro durante los cálculos por lo que no se tendrán en cuenta posibles variaciones.
- **Pérdidas en curvas, codos y otros accesorios**. A través de una tabla se obtendrán las pérdidas en cada elemento como pérdidas locales y se sumarán a las pérdidas de la tubería.
- **Pérdidas de válvulas abiertas o parcialmente cerradas**. Las válvulas las consideraremos totalmente abiertas en los diferentes circuitos ya que no tenemos conocimiento de la operatividad de las mismas y su estado de funcionamiento.

Por lo tanto, las pérdidas de carga totales que regirán los cálculos elaborados, quedarán definidas por la expresión de Darcy-Weisbach:

$$\Delta h_{total} = h_f + \sum h_m = \frac{v^2}{2 * g} * \left(\frac{f * L}{d} + \sum k \right)$$

En esta expresión, el parámetro nuevo es el sumatorio de k, que son los valores del coeficiente de pérdidas de los diversos accesorios. Normalmente las pérdidas de carga continuas son más importantes que

las locales, pudiendo estas últimas llegar a despreciarse cuando suponga menos de un 5% del total. Estos valores de k se establecen de forma experimental. Los coeficientes k son adimensionales y dependen del tipo de singularidad y de velocidad media en el interior de la tubería. A continuación se establecen ciertos coeficientes:

Accesorios	K
Válvula esférica (totalmente abierta)	10
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5
Válvula de retención (totalmente abierta)	2
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2
Válvula de compuerta (abierta $\frac{3}{4}$)	1.15
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{2}$)	5.6
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{4}$)	24.0
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-
"T" por la salida lateral	1.80
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.90
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.60
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35

Tabla 58: *Coeficiente k de los accesorios.*

8.6.-Cálculo de las pérdidas de carga

A continuación se realizarán los cálculos pertinentes de las pérdidas de diferentes tramos de los diferentes circuitos del buque. Partimos de los circuitos del buque Murillo, que aunque el buque dimensionado tenga mayor autonomía, es muy cercano al buque de estudio, por lo que los circuitos de combustible se asimilan parecidos o iguales en ciertos puntos. A pesar de esto, no se siguen las dimensiones de sus tuberías ni disposición, sino que se han realizado los cálculos de diámetro y caudales de los elementos a partir del primer punto del redimensionado. Todos los cálculos serán correlativos, empezando por varios datos de interés y

finalizando con el valor de las pérdidas de carga, tanto primarias como secundarias en una expresión total.

8.6.1.-Circuito de trasiego de fuel-oil

Cada circuito se dividirá en una parte de admisión o aspiración y una parte de descarga. En el caso de la admisión del circuito de trasiego de fuel-oil, esta tubería irá desde el tanque de servicio diario de combustible, hasta la bomba de trasiego de fuel-oil. Al ser dos tanques estos se colocarán simétricamente en cada costado y a la misma distancia de la bomba. Comparadas con las líneas de los tanques almacén o sedimentación y con el mismo diámetro de tubería, estos tanques se encuentran más alejados.

$$\text{Longitud } (L) = 16 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 157,1 \text{ mm} = 0,1571 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 31,80 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00883 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido } (v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,1571 + 0,05} = 0,682 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,682 \cdot 0,1571}{20} = 5357,11$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,1571} = 0,0003182$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{5357,11} + \left(\frac{0,0003182}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4384}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42

Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	$2 \cdot 0,2 = 0,4$
Codo de 90°	$3 \cdot 0,9 = 2,7$
T normal	0
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	8,52

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,682^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4384 \cdot 16}{0,1571} + 8,52 \right)$$

$$= \underline{\underline{1,2604 \text{ m}}}$$

En el caso más desfavorable de descarga posible, tenemos la línea que va desde la bomba de trasiego, al tanque de sedimentación de fuel-oil.

$$\text{Longitud (L)} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior (D)} = 128,5 \text{ mm} = 0,1285 \text{ m}$$

$$\text{Caudal (Q)} = 31,80 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00883 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido (v)} = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,1285 + 0,05} = 0,6337 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds (Re)} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,6337 \cdot 0,1285}{20} = 4071,52$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,1285} = 0,0003891$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log\left(\frac{6,9}{4071,52} + \left(\frac{0,0003891}{37}\right)^{1,11}\right)}} = \mathbf{0,4478}$$

Salida tubería	0,42
Entrada tubería	0
Válvula de ángulo, totalmente abierta	0
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	2·0,2=0,4
Codo de 90°	4·0,9=3,6
T normal	2·1,80=3,6
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	8,02

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,6337^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4478 \cdot 15}{0,1285} + 8,02 \right)$$

$$= \mathbf{1,2340 \text{ m}}$$

8.6.2.-Circuito de trasiego de diesel-oil

En este caso, la admisión o aspiración más desfavorable puede tomarse desde el tanque almacén o de servicio diario, ya que la longitud y los elementos locales son los mismos. Por lo tanto, y como normalidad de procedimiento en el circuito de trasiego, se calcularán desde el tanque almacén de diesel-oil hasta la bomba de trasiego.

$$\text{Longitud } (L) = 30 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 78,9 \text{ mm} = 0,0789 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 31,80 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00883 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido } (v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0789 + 0,05} = 0,5385 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,5385 \cdot 0,0789}{20} = 2124,38$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0789} = 0,0006337$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{2124,38} + \left(\frac{0,0006337}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4725}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	2·0,2=0,4
Codo de 90°	0,9
T normal	1,8
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	8,52

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,5385^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4725 \cdot 30}{0,0789} + 8,52 \right)$$

$$= \mathbf{\underline{2,7812 \text{ m}}}$$

En la descarga de la bomba de trasiego, calcularemos la perdida hasta que el combustible vuelve, pero esta vez al tanque de servicio diario de diesel-oil que se encuentra al lado del tanque almacén.

$$\text{Longitud } (L) = 30 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 67,1 \text{ mm} = 0,0671 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 31,80 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00883 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido } (v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0671 + 0,05} = 0,5137 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,5137 \cdot 0,0671}{20} = 1723,46$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0671} = 0,0007451$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1723,46} + \left(\frac{0,0007451}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4814}$$

Salida tubería	0,42
Entrada tubería	0
Válvula de ángulo, totalmente abierta	0
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	2·0,2=0,4
Codo de 90°	6·0,9=5,4
T normal	1,8
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	8,02

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,5137^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4814 \cdot 30}{0,0671} + 8,02 \right)$$

$$= \mathbf{\underline{\underline{3,0027 \text{ m}}}}$$

8.6.3.-Circuito depuración fuel-oil

En este caso las distancias son menores, al encontrarse el grupo de depuradores cerca del tanque de sedimentación y servicio diario de fuel-oil. En el caso de la admisión se tomará el recorrido desde el tanque de sedimentación hasta la bomba del modulo de depuración.

$$\text{Longitud } (L) = 8 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 67,1 \text{ mm} = 0,0671 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 5,02 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0013944 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido } (v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0671 + 0,05} = 0,5137 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,5137 \cdot 0,0671}{20} = 1723,46$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0671} = 0,0007451$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1723,46} + \left(\frac{0,0007451}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4814}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	2·0,9=1,8
T normal	0
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0

Total Σk	7,22
------------------------------------	-------------

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,5137^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4814 \cdot 8}{0,0671} + 7,22 \right)$$

$$= \underline{\underline{0,8690 \text{ m}}}$$

En el caso de la descarga, incluyendo el paso por el calentador y la depuradora, el fuel-oil saldrá del módulo hacia los tanques de servicio diario de fuel-oil. En este caso la distancia de recorrido es mayor, y mayores las pérdidas. Las pérdidas por calentador y depuradora no se tienen en cuenta, solo la longitud de transporte por la tubería.

$$\text{Longitud (L)} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior (D)} = 51,3 \text{ mm} = 0,0513 \text{ m}$$

$$\text{Caudal (Q)} = 5,02 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0013944 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido (v)} = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0513 + 0,05} = 0,4774 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds (Re)} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4774 \cdot 0,0513}{20} = 1224,53$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0513} = 0,0009746$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1224,53} + \left(\frac{0,0009746}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \underline{\underline{0,4970}}$$

Salida tubería	0,42
Entrada tubería	0

Válvula de ángulo, totalmente abierta	0
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	4·0,9=3,6
T normal	0
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	4,02

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4774^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4970 \cdot 12}{0,0513} + 4,02 \right)$$

$$= \underline{\underline{1,3971 \text{ m}}}$$

8.6.4.-Circuito depuración diesel-oil

En el caso del diesel-oil, se calculará como admisión desde el tanque almacén de diesel, hasta la bomba del módulo de la depuradora. En este caso la distancia es mayor en la admisión que en la descarga. Los módulos de depuradoras estarán en la misma sala, por lo que variara la distancia con los respectivos tanques.

$$Longitud (L) = 14 \text{ m}$$

$$Diámetro interior (D) = 41,1 \text{ mm} = 0,0411 \text{ m}$$

$$Caudal (Q) = 1,425 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00039583 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Velocidad fluido(v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0411 + 0,05} = 0,4527 \text{ m/s}$$

$$Numero de Reynolds (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4527 \cdot 0,0411}{20} = 930,29$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0411} = 0,0001216$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{930,29} + \left(\frac{0,0001216}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,5108}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	3·0,9=2,7
T normal	0
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	8,12

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4527^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,5108 \cdot 14}{0,0411} + 8,12 \right)$$

$$= \mathbf{1,9022 \text{ m}}$$

En la descarga, de la bomba podemos volver al tanque almacén o al de servicio diario. Como funcionamiento normal, este combustible irá al tanque de servicio diario, por lo tanto, se calcularán las pérdidas en este tramo.

$$\text{Longitud (L)} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior (D)} = 35,2 \text{ mm} = 0,0352 \text{ m}$$

$$\text{Caudal (Q)} = 1,425 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00039583 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Velocidad\ fluido(v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0352 + 0,05} = 0,4378\text{ m/s}$$

$$Numero\ de\ Reynolds\ (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4378 \cdot 0,0352}{20} = 770,52$$

$$k = 0,05\text{ mm} = 0,00005\text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0352} = 0,001420$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log\left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37}\right)^{1,11}\right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log\left(\frac{6,9}{770,52} + \left(\frac{0,001420}{37}\right)^{1,11}\right)}} = \mathbf{0,5209}$$

Salida tubería	0,42
Entrada tubería	0
Válvula de ángulo, totalmente abierta	0
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	3·0,9=2,7
T normal	0
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	3,12

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k\right) = \frac{0,4378^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,5209 \cdot 10}{0,0352} + 3,12\right)$$

$$= \mathbf{1,4761\text{ m}}$$

8.6.5.-Circuito alimentación motores principales

En este circuito hay dos tramos de aspiración para cada tipo de combustible y un tramo de descarga de fuel-oil, ya que las diferencias de caudal con el diesel son inexistentes al tener que alimentar al motor principal. En otros circuitos como el del Murillo, sí que hay diferencia de diámetro entre ambos combustibles, pero en el dimensionado no se contemplan variaciones y van en función del caudal necesario para alimentar al motor principal con independencia del tipo de combustible. En el caso de la admisión del fuel-oil, este se calculará desde tanque de servicio diario hasta la bomba de circulación o inicio del módulo de tratamiento de fuel-oil para alimentar los motores principales.

$$\text{Longitud } (L) = 12,5 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 67,1 \text{ mm} = 0,0671 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0011111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido } (v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0671 + 0,05} = 0,5137 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,5137 \cdot 0,0671}{20} = 1723,46$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0671} = 0,0007451$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1723,46} + \left(\frac{0,0007451}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4814}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42

Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	3·0,9=2,7
T normal	1,8
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	9,92

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,5137^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4814 \cdot 12,5}{0,0671} + 9,92 \right)$$

$$= \underline{\underline{1,3396 \text{ m}}}$$

La descarga calculada es la misma para fuel-oil y diesel-oil, ya que el combustible se descarga de las bombas de alimentación pertinentes hacia los motores principales. En el caso del fuel-oil, no se tiene en cuenta los circuitos internos del módulo de tratamiento y se vuelve a calcular desde la descarga de las bombas de alimentación hacia los motores principales. En el caso del diesel-oil, no hay tratamiento y solo bomba de alimentación.

$$Longitud (L) = 14 \text{ m}$$

$$Diámetro interior (D) = 51,3 \text{ mm} = 0,0513 \text{ m}$$

$$Caudal (Q) = 4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0011111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Velocidad fluido(v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0513 + 0,05} = 0,4774 \text{ m/s}$$

$$Numero de Reynolds (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4774 \cdot 0,0513}{20} = 1224,53$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0513} = 0,0009746$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1224,53} + \left(\frac{0,0009746}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4970}$$

Salida tubería	0,42
Entrada tubería	0
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	3·0,9=2,7
T normal	1,8
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	9,92

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4774^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4970 \cdot 14}{0,0513} + 9,92 \right)$$

$$= \mathbf{1,6907 \text{ m}}$$

Por último, del circuito de alimentación de los principales, está el cálculo de la línea de aspiración de la bomba de alimentación de los principales de diesel-oil.

$$Longitud (L) = 17,5 \text{ m}$$

$$Diámetro interior (D) = 67,1 \text{ mm} = 0,0671 \text{ m}$$

$$Caudal (Q) = 4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0011111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Velocidad\ fluido(v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0671 + 0,05} = 0,5137 \text{ m/s}$$

$$Numero\ de\ Reynolds\ (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,5137 \cdot 0,0671}{20} = 1723,46$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0671} = 0,0007451$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log\left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37}\right)^{1,11}\right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log\left(\frac{6,9}{1723,46} + \left(\frac{0,0007451}{37}\right)^{1,11}\right)}} = \mathbf{0,4814}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0,2
Codo de 90°	3·0,9=2,7
T normal	1,8
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	10,12

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k\right) = \frac{0,5137^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4814 \cdot 17,5}{0,0671} + 10,12\right)$$

$$= \mathbf{1,8247 \text{ m}}$$

8.6.6.-Circuito alimentación motores auxiliares

Como en los principales, las líneas de los auxiliares tienen una disposición similar. En la aspiración o admisión tendremos por una parte las líneas de fuel y diesel. Mientras que en la descarga de la bomba de alimentación serán iguales para las dos. La admisión de fuel-oil a la bomba de circulación proviene del tanque de servicio diario. El caudal es menor en los auxiliares, por lo tanto, el diámetro de las tuberías habrá variado. Los tanques están alejados de los motores auxiliares, por lo que el recorrido es mayor.

$$\text{Longitud (L)} = 38 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior (D)} = 35,2 \text{ mm} = 0,0352 \text{ m}$$

$$\text{Caudal (Q)} = 1 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00027777 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido (v)} = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0352 + 0,05} = 0,4378 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds (Re)} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4378 \cdot 0,0352}{20} = 770,52$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0352} = 0,001420$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{770,52} + \left(\frac{0,001420}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,5209}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0

Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	2·0,9=1,8
T normal	0
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	7,22

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4378^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,5209 \cdot 38}{0,0352} + 7,22 \right)$$

$$= \underline{\underline{5,5640 \text{ m}}}$$

A continuación se realizarán los cálculos de la descarga de fuel-oil y diesel-oil después de la bomba de alimentación, ambas bombas se sitúan en los módulos de tratamiento de combustible.

$$\text{Longitud (L)} = 25 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior (D)} = 27,3 \text{ mm} = 0,0273 \text{ m}$$

$$\text{Caudal (Q)} = 1 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00027777 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido (v)} = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0273 + 0,05} = 0,4170 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds (Re)} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4170 \cdot 0,0273}{20} = 569,20$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0273} = 0,001831$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{569,20} + \left(\frac{0,001831}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \underline{\underline{0,5385}}$$

Salida tubería	0,42
Entrada tubería	0
Válvula de ángulo, totalmente abierta	0
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	3·0,9=2,7
T normal	1,8
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	4,92

$$h_{totales} = h_f + h_{locales} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4170^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,5385 \cdot 25}{0,0273} + 4,92 \right)$$

$$= \underline{\underline{4,4345}}$$

La admisión de diesel-oil en la bomba de alimentación proviene del tanque de servicio diario de combustible.

$$Longitud (L) = 40 \text{ m}$$

$$Diámetro interior (D) = 35,2 \text{ mm} = 0,0352 \text{ m}$$

$$Caudal (Q) = 1 \text{ m}^3/h = 0,00027777 \text{ m}^3/s$$

$$Velocidad fluido(v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0352 + 0,05} = 0,4378 \text{ m/s}$$

$$Numero de Reynolds (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4378 \cdot 0,0352}{20} = 770,52$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0352} = 0,001420$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{D} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log\left(\frac{6,9}{770,52} + \left(\frac{0,0014,20}{37}\right)^{1,11}\right)}} = 0,5209$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	3·0,9=2,7
T normal	0
Codo de 45°	0
Válvula tres vías	0
Total Σk	8,12

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4378^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,5209 \cdot 40}{0,0352} + 8,12 \right)$$

$$= \underline{\underline{5,8619 \text{ m}}}$$

8.6.7.-Circuito alimentación caldera

En el caso de la caldera, esta puede consumir fuel-oil del tanque de sedimentación o diesel-oil desde el tanque de servicio diario. Calcularemos la línea desde el tanque de diesel-oil debido a su mayor distancia hasta la aspiración de la bomba. La descarga será la misma para ambos combustibles.

$$\text{Longitud } (L) = 10 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 51,3 \text{ mm} = 0,0513 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 2,87 \text{ m}^3/\text{h} = 0,000797222 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido } (v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0513 + 0,05} = 0,4774 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4774 \cdot 0,0513}{20} = 1224,53$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0513} = 0,0009746$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1224,53} + \left(\frac{0,0009746}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4970}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	0,9
T normal	1,8
Codo de 45°	0
Total Σk	8,12

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4774^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4970 \cdot 10}{0,0513} + 8,12 \right)$$

$$= \mathbf{1,2197 \text{ m}}$$

El tramo de descarga irá desde la bomba de alimentación de caldera hasta el quemador de la caldera auxiliar.

$$\text{Longitud } (L) = 4 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 41,1 \text{ mm} = 0,0411 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 2,87 \text{ m}^3/\text{h} = 0,000797222 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido}(v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0411 + 0,05} = 0,4527 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4527 \cdot 0,0411}{20} = 930,29$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0411} = 0,0001216$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{930,29} + \left(\frac{0,0001216}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,5108}$$

Salida tubería	0,42
Entrada tubería	0
Válvula de ángulo, totalmente abierta	0
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	2·0,90=1,8
T normal	0
Codo de 45°	0
Total Σk	2,22

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4527^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,5108 \cdot 4}{0,0513} + 2,22 \right)$$

$$= \mathbf{0,5424 \text{ m}}$$

8.6.8.-Circuito combustible lodos

Este cálculo complementa el circuito de combustible, que aunque no forme parte, debido al cálculo mediante el consumo total del buque es importante conocer las pérdidas y por lo tanto dimensionar el circuito y bomba. La aspiración va desde el tanque de lodos, hasta la bomba de aspiración.

$$\text{Longitud } (L) = 6 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior } (D) = 67,1 \text{ mm} = 0,0671 \text{ m}$$

$$\text{Caudal } (Q) = 5,333 \text{ m}^3/\text{h} = 0,001481 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido } (v) = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0671 + 0,05} = 0,5137 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds } (Re) = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,5137 \cdot 0,0671}{20} = 1723,46$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0671} = 0,0007451$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1723,46} + \left(\frac{0,0007451}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \mathbf{0,4814}$$

Salida tubería	0
Entrada tubería	0,42
Válvula de ángulo, totalmente abierta	0
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	0,9
T normal	1,8
Codo de 45°	0

Total Σk	3,12
------------------------------------	-------------

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,5137^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4814 \cdot 4}{0,0671} + 3,12 \right)$$

$$= \underline{\underline{0,6209 \text{ m}}}$$

La descarga de la bomba de lodos, puede descargar en el incinerador como material de combustible o ser descargado por cubierta a una recepción de tierra. Para el cálculo de descarga se tomará la descarga a tierra a través de la cubierta de carga.

$$\text{Longitud (L)} = 40 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interior (D)} = 51,3 \text{ mm} = 0,0513 \text{ m}$$

$$\text{Caudal (Q)} = 5,333 \text{ m}^3/\text{h} = 0,001481 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad fluido (v)} = 1,5 \cdot \sqrt{D + 0,05} = 1,5 \cdot \sqrt{0,0513 + 0,05} = 0,4774 \text{ m/s}$$

$$\text{Numero de Reynolds (Re)} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,4774 \cdot 0,0513}{20} = 1224,53$$

$$k = 0,05 \text{ mm} = 0,00005 \text{ m}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,00005}{0,0513} = 0,0009746$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{k}{37} \right)^{1,11} \right)}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{1224,53} + \left(\frac{0,0009746}{37} \right)^{1,11} \right)}} = \underline{\underline{0,4970}}$$

Salida tubería	0, 42
Entrada tubería	0
Válvula de ángulo, totalmente	0

abierta	
Válvula de retención	0
Válvula de compuerta	0
Codo de 90°	2·0,9=1,8
T normal	0
Codo de 45°	0
Total Σk	2,22

$$h_{\text{totales}} = h_f + h_{\text{locales}} = \frac{v^2 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} + \frac{v^2 \cdot \Sigma k}{2 \cdot g} =$$
$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{D} + \Sigma k \right) = \frac{0,4774^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,4970 \cdot 40}{0,0513} + 2,22 \right)$$
$$= \underline{\underline{4,5273 \text{ m}}}$$

A través de todos los cálculos realizados del caso más desfavorable de tramo, se pueden encontrar en el mercado el tipo de bomba que requiere la línea. En este caso, las bombas de dimensionado cumplen perfectamente con las condiciones de trabajo tanto en caudal, como en pérdidas de carga. Estos cálculos realizados están sujetos a modificaciones de proyecto una vez en astillero por posible aumento de del tramo, instalación de válvulas, codos y pérdidas de otros accesorios. Aun así al ser locales las pérdidas y ser poco significativas no variaran el valor de pérdidas de gran medida. La necesidad de ensanchar o disminuir ciertos tramos también cambiará la disposición de los tramos en dimensiones, aunque eso dependerá de la necesidad de la instalación y no en la aspiración o descarga de la bomba.

9.-Conclusiones

Llegados a este punto y después de haber recorrido los pasos pertinentes desde el inicio hasta el final de este proyecto, se puede observar que en cada buque, el sistema de combustible es diferente, único y no falto de particularidades.

Para poder llegar a la última fase de dimensionado de cualquier sistema ya sea de combustible, aceite o agua salada, se debe realizar un proceso muy exhaustivo de **análisis previo** para asimilar, comprender y familiarizarse con los elementos que componen el sistema de estudio. Dentro de este estudio, hay una gran cantidad de información, por lo que es importante tener claro los objetivos a seguir y realizar las elecciones correctas para obtener la finalidad deseada. El conocer las características y particularidades de los combustibles a usar en una idea determinada constructiva, ayudará a entender mejor el estudio posterior de los diferentes circuitos de combustible, la colocación de los elementos, su conectividad, la finalidad de los mismos, etc... Todo elemento ejerce una operación y de esta, depende el resultado final de la instalación.

Con el objetivo de ver estas diferencias constructivas y siguiendo dos buques diferentes tanto en características como en finalidades, se realiza una pequeña comparativa entre el remolcador Willy-T y el buque Ro-Pax Murillo. La complejidad de su respectivo sistema de combustible muestra diferencias notorias tanto en el número de elementos a controlar, como en las dimensiones de los mismos. Aunque podamos encontrar los mismos elementos en ambos buques, la finalidad del proyecto era diferente, por lo tanto, se acentúa la importancia de conocer y pre-visualizar la finalidad

del estudio y la comprensión de los elementos y combustibles utilizables en cada uno de los casos.

Por lo tanto, en el proceso de dimensionado, se debe profundizar en la parte del estudio y comprensión de los elementos que intervendrán en los circuitos. Con una buena base se puede empezar la construcción del sistema, en este caso de combustible, y realizar las elecciones que beneficie en mayor grado posible la finalidad establecida.

Con los parámetros iniciales del sistema, hay que tener claro que todo va a construirse sobre estos. Caudal, presiones y temperaturas, son varios parámetros que influirán en las **elecciones** que se han realizado para equipar el sistema de combustible. Estos parámetros varían en los diferentes circuitos y hay que amoldarse a ellos, los elementos deben cumplir los requisitos para que la funcionalidad de la instalación sea la correcta.

A través de los diferentes proveedores, a día de hoy, hay una mayor facilidad en la búsqueda de los diferentes elementos, pudiendo encontrar un sinfín de posibilidades para la instalación, que se amoldan perfectamente en esta. Por lo tanto, la elección vuelve a estar presente ya que esta, englobará una gran cantidad de aspectos ya no solo constructivos, sino también económicos y estratégicos.

Como último término importante, hay que tener muy presente los **riesgos** de la utilización y manejo de combustible. Cualquier combustible es un fluido peligroso debido a sus características. Por un lado, está la parte de contaminación, y por otra el mantenimiento. Este último es fundamental para cualquier instalación. Es necesario aplicar una buena gestión del mantenimiento para que la instalación se encuentre siempre en las

condiciones más óptimas para realizar su función. Ya que si hay carencias en este aspecto, esto puede derivar a un funcionamiento erróneo y por lo tanto, se pueden producir accidentes que derivaran en la parte de contaminación.

La contaminación sigue siendo a día de hoy un aspecto prioritario. Los posibles derrames ya sean por accidente o negligencia están presentes cada día en el mundo marino, por lo que hay que resaltar la importancia de la concienciación de las personas involucradas, para que se disminuya en lo máximo posible el riesgo de provocar un daño en el ecosistema o en las personas de nuestro alrededor.

10.-Bibliografía

-Agüera Soriando, José

Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas. 5ª ed. Madrid: Ciencia 3, 2002. ISBN 8495391015

-Clarck, George H

Lubricación diesel Marina. London: Burnah-Castrol, 1974.

-Francis, Wilfrid

Los combustibles y su tecnología. Bilbao Urmo, S.A. de ediciones, 1969.

-Hernández Molina, Ricaro

Máquinas marinas: equios y servicios. Cádiz: Universidad de Cádiz, 1991.

-Kentish, D.N.W.

Tuberías industriales: diseño, selección, cálculo y accesorios. 3ª ed. Bilbao Urmo, S.A. de ediciones, 1989. ISBN 8331404736

-White, Frank M.

Mecánica de fluidos. 6ª ed. Madrid: McGraw-Hill, 2008. ISBN 9788448166038

Proyectos:

- Jordi Paradell Ruesca

Rediseño de la instalación de combustible de un buque Ro-Pax de la serie Tritón. Proyecto final de carrera, UPC-FNB, Departamento de Ciencia e ingeniería náutica, 2005.

- Cristina Barragán Casanova

Análisis de diferentes sistemas de combustible y dimensionamiento del servicio de combustible de un portacontenedores. Proyecto final de carrera, UPC-FNB, Departamento de Ciencia e ingeniería náutica, 2008.

Webs:

- <http://www.alfalaval.com/Pages/default.aspx>

- http://www.allweiler.de/10966/Home/awr_start.asp
- <http://www.corken.com/>
- <http://www.dnv.com/industry/maritime/servicessolutions/fueltesting/fuelqualitytesting/iso8217fuelstandard.asp>
- http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/31_HeavyFuelOil/Pub31_HeavyFuelOil
- <http://www.efoa.eu/en/>
- <http://www.epa.gov/otaq/fuels/gasolinefuels/winterprograms/index.htm>
- <http://glander.net/pdf/ISOSPECS1996.pdf>
- <http://www.mackaycomm.com/default.asp>
- http://www.marcelorossini.com.ar/distribucion/productos-combustibles-ifo_380-8.html
- <http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/combustibles-fosiles.pdf>
- http://toxics.usgs.gov/definitions/fuel_oxygenates.html
- <http://www.vaf.nl/>
- [http://westafrica.stenaoil.com/Global/Stena%20Oil/Files/ISO8217;2005\(E\).pdf](http://westafrica.stenaoil.com/Global/Stena%20Oil/Files/ISO8217;2005(E).pdf)